



TESIS-SF 142502

RANCANG BANGUN SENSOR LEVEL BERBASIS SENSOR TEKANAN PADA TANGKI PROSES MINYAK KELAPA

**Akhmad Fahrudi
NRP 1112201007**

**DOSEN PEMBIMBING
Endarko, M.Si, Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN FISIKA INSTRUMENTASI
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



THESIS-SF 142502

DESIGN OF LEVEL SENSOR BASED ON PRESSURE SENSOR IN PALM'S OIL PROCESSING TANK

**Akhmad Fahrudi
NRP 1112201007**

**Advisor:
Endarko, M.Si, Ph.D.**

**MASTER PROGRAM
BIDANG KEAHLIAN FISIKA INSTRUMENTASI
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCE
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Akhmad Fahrudi

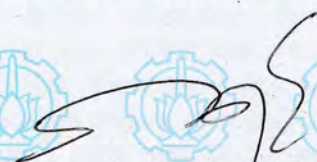
Nrp. 1112201007

Tanggal Ujian : 28 Juli 2015
Periode Wisuda : September 2015


Disetujui oleh:


1. Endarko, M.Si, Ph.D
NIP. 19741117.199903.1.001

(Pembimbing I)


2. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
NIP. 19690904.199203.1.003

(Penguji I)


3. Dr. Melania Suweni Muntini, MT
NIP. 19641229.199002.2.001

(Penguji II)


Direktur Program Pascasarjana


Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 19640405 199002 1 001

Rancang Bangun Sensor Level Berbasis Sensor Tekanan Pada Tangki Proses Minyak Kelapa

Nama : Akhmad Fahruzi
NRP : 1112201007
Pembimbing : Endarko, M.Si, Ph.D.

ABSTRAK

Banyak metode yang dipakai didalam mengukur level suatu zat cair, diantaranya adalah menggunakan metode gelombang ultrasonik, kapasitansi dan fiber optik. Akan tetapi, dari ketiga metode tersebut bila diterapkan pada perusahaan minyak kelapa, maka akan banyak menemukan kendala dalam fabrikasinya. Hal ini dikarenakan tangki proses minyak kelapa memiliki ketinggian sampai 12 m dengan temperatur sampai 80°C. Selain itu juga keadaan tangki yang selalu terisi minyak dan tertutup rapat, hanya terdapat lubang untuk sirkulasi udara penguapan. Sehingga dalam penelitian ini diterapkan metode fluida yaitu dengan menerapkan hubungan tekanan minyak kelapa pada tangki proses dengan levelnya. Akan tetapi metode fluida memiliki ketergantungan dengan karakteristik fluidanya (minyak kelapa), salah satunya adalah massa jenis minyak kelapa, sedangkan massa jenis memiliki hubungan dengan temperatur. sehingga pada penelitian ini, untuk mencari nilai massa jenis minyak kelapa dilakukan dengan eksperimen dengan mengubah setiap nilai temperatur dari minyaknya. Pada perancangan alat ini, dipakai sensor temperatur jenis PT100 untuk mengukur temperatur minyaknya dan pengukuran tekanannya menggunakan sensor tekanan MIDAS Pressure transmitter. Dari hasil eksperimen nilai massa jenis minyak kelapa, bahwa temperatur minyak semakin tinggi akan menurunkan nilai massa jenis minyak kelapa dan sebaliknya. Pengukuran level pada alat yang menggunakan persamaan bernouli sebagai persamaan untuk kalibrasi sudah sesuai ketika alat diterapkan ke pemodelan mekanik yang telah dibuat dan pada tangki minyak kelapa diperusahaan yang mempunyai kesalahan tidak lebih dari 10% dengan rata-rata kesalahan terbesar berada pada level dibawah 60 cm.

Kata kunci: fluida, pengukuran level, sensor tekanan, massa jenis minyak kelapa, sensor temperatur PT100.



Design Of Level Sensor Based On Pressure Sensor in Palm's Oil Processing Tank

Name : Akhmad Fahruzi
NRP : 1112201007
Supervisor : Endarko, M.Si, Ph.D.

ABSTRACT

Many methods are used in measuring the level of a liquid, such as using ultrasonic waves, capacitance and optical fiber . However , when three methods applied to companies, it will be many obstacles in the fabrication. This is because the palm oil storage tank has a height up to 12 m with temperature up to 80 °C . In addition, the state of the tank always filled with oil and sealed , but there a hole for air circulation evaporation. Thus, in this study applied the method is to measure pressure fluid palm oil depend of this level. However, the method has a dependency with characteristic of the fluid (palm oil), such as density value of the oil. To find the value of density's oil , then the experiments is changing value of the temperature the oil. Designing this tool , temperature sensor PT100 type is used to measure the temperature of oil and this pressure measure is used pressure sensor MIDAS pressure transmitter. From the experimental results of the density value of palm oil, that the oil temperature will lower the value the higher the density of the oil palm and vice versa. Level measurement in tool use bernouli equation as the equation for the calibration is appropriate when applied to the modeling tool mechanics that have been made and the oil tank in the company which has an error of not more than 10% with an average of biggest mistake at the level below 60 cm.

Key Words: fluid, level measurement, pressure sensor, density of palm oil, PT100 temperature sensor.



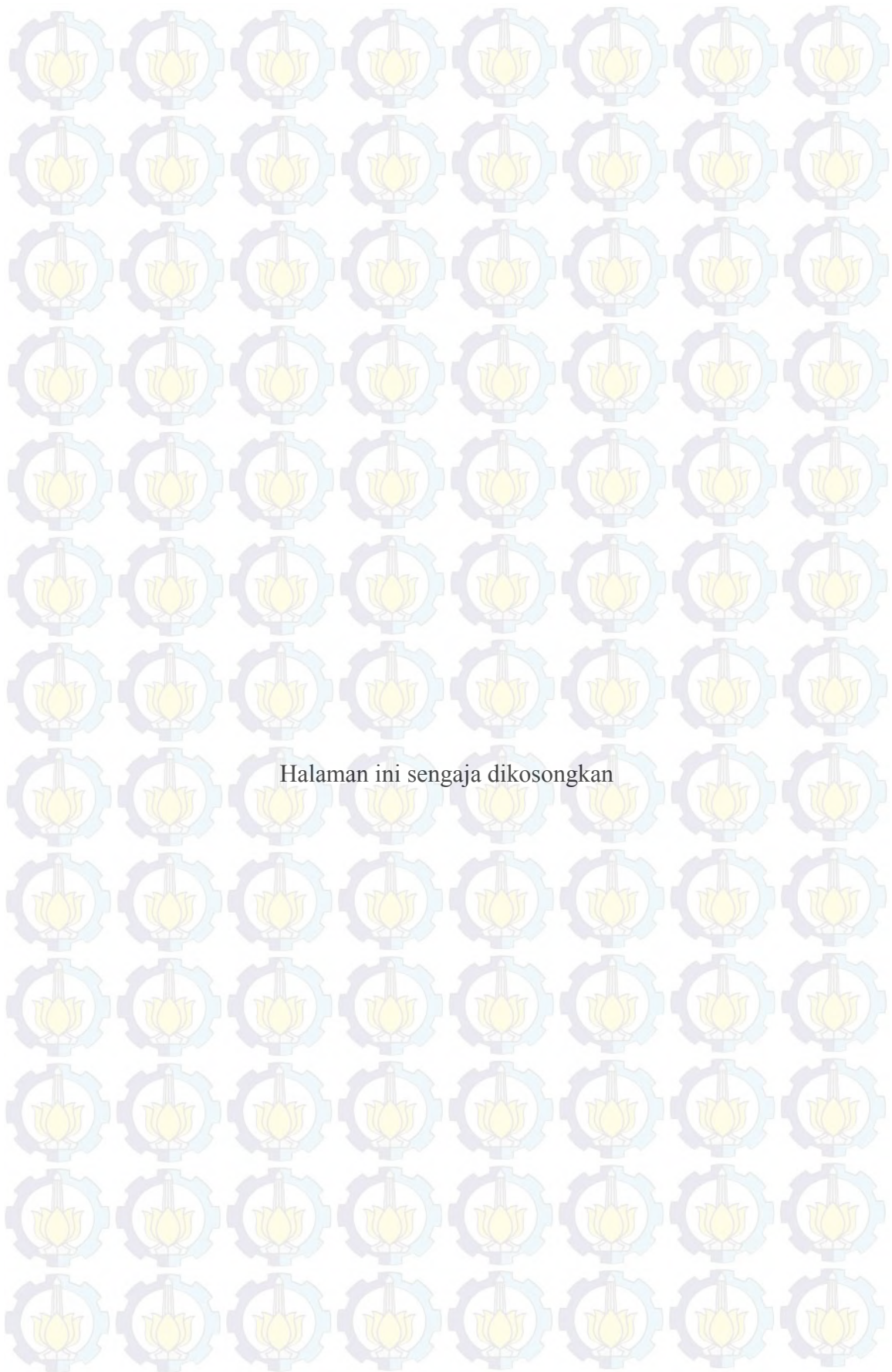
Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur kepada Allah SWT yang Maha Pengasih dan Penyayang penulis ucapkan karena hanya dengan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Sensor Level Berbasis Tekanan pada Tangki Proses Minyak Kelapa". Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas ini, diantaranya:

1. Endarko.Ph.D selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing tesis yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, dan motivasi sejak awal penulis menjadi mahasiswa beliau hingga kini.
2. Dr. Yono HP, M.Eng selaku dosen penguji dan kepala jurusan yang telah banyak memberikan masukan positif bagi penelitian dan penulisan laporan penelitian ini.
3. Dr. Melania S Muntini, MT selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan positif bagi penelitian dan penulisan laporan penelitian ini.
4. Kedua orang tua yang telah memberikan motivasi dan doa kepada penulis.
5. Teman-teman di lab Instrumentasi FMIPA ITS yang telah mendampingi pelaksanaan penelitian sehingga dapat tersusunnya tesis ini.
6. Teman-teman satu angkatan Magister Fisika 2012 terutama kepada Rizki Noviani yang senantiasa memberi motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari, bahwa proposal tesis ini tentunya banyak memiliki kekurangan di sana sini karena kurangnya pengalaman dan pengetahuan penulis sendiri. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun terutama dari dosen pembimbing dan dosen-dosen penguji sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa akan datang.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Minyak Goreng	5
2.2 Menentukan Massa Jenis Menggunakan Hubungan Temperatur dan Tekanan	5
2.2.1 Perubahan Dimensional Akibat koefisien Muai Termal dan Temperatur	5
2.2.2 Hubungan Massa Jenis dan Tekanan	8
2.2.3 Hubungan Massa Jenis dan Temperatur	8
2.3 Sensor Fluida	10
2.3.1 Sensor Tekanan	11
2.3.2 Sensor Level	12
2.4 RTD	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1 Tahap-tahap Penelitian	17

3.2	Alat dan Bahan	17
3.3	Parameter Pengukuran	18
3.4	Prosedur Penelitian	19
3.4.1	Perancangan Sistem Monitoring Level Minyak Kelapa.....	19
3.4.1.1	Rangkaian Pengkondisi Sinyal	21
3.4.1.2	Sensitifitas per cm dan Span Sensor Tekanan	22
3.4.1.3	ADC Internal Atmega16	26
3.4.2	Pengujian Hasil	27
3.5	Rencana Kegiatan	28
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Hasil Penelitian	29
4.1.1	Realisasi Sistem Instrument	29
4.1.2	Nilai Massa Jenis Minyak Kelapa Terhadap Temperatur ...	30
4.1.3	Pengujian Tegangan Keluaran Sensor Tekanan	31
4.1.4	Kalibrasi Karakteristik Statik Sensor Tekanan	34
4.1.5	Kalibrasi Sensor Tekanan ke Besaran Level	35
4.1.6	Pengujian Level dengan Menaikkan Temperatur Minyak ..	39
4.1.7	Kalibrasi Alat di Lapangan	40
4.1.8	Pengukuran Level di Perusahaan	43
4.2	Pembahasan	44
BAB 5	KESIMPULAN	45
5.1	Kesimpulan	45
DAFTAR PUSTAKA	47
Lampiran 1:	Data Hasil Pengujian Minyak Kelapa dan Sensitifitas Sensor Tekanan	49
Lampiran 2:	Data Hasil Keluaran Rangkaian Pengkondisi Sinyal	55
Lampiran 3:	Data Hasil Pengukuran Level	61
Lampiran 4:	Data Hasil Pengukuran Level dengan temperatur naik	63
Lampiran 5:	Data Hasil Kalibrasi dilapangan	65
Lampiran 6:	Listing Program	69

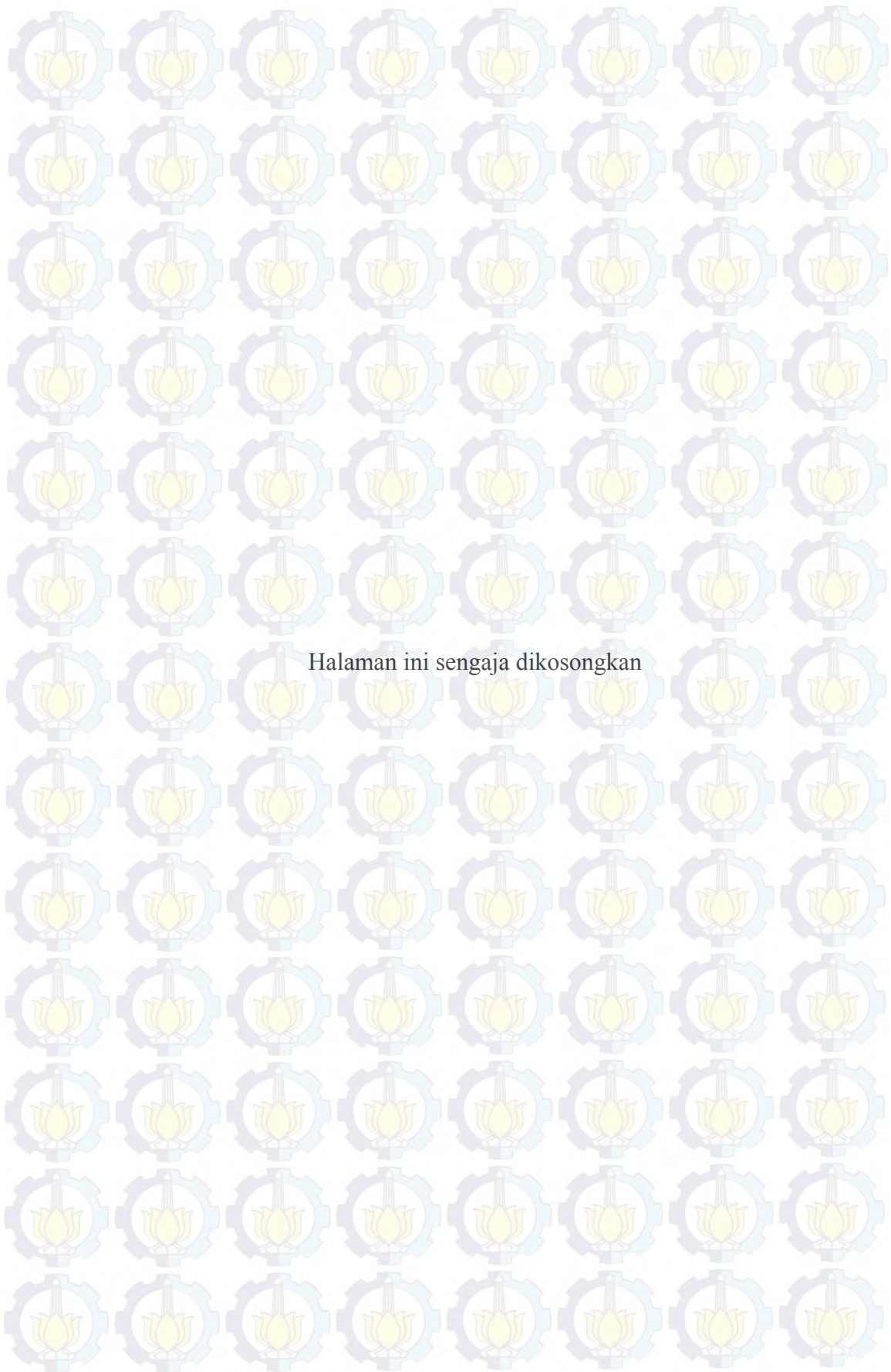
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik untuk menentukan koefisien muai panas dari BMR, BER dan minyak diesel	6
Gambar 2.2	Fluida dilengkapi dengan penghisap bergerak	7
Gambar 2.3	Perbedaan pengukuran tekanan (a) <i>absolut pressure</i> (b) <i>diffrential pressure</i>	11
Gambar 2.4	Pengukuran krtinggian dengan sensor tekanan (a) pada tangki terbuka (b) pada tangki tertutup	12
Gambar 2.5	MEMS sensor tekanan (Sarath TM, 2013).....	13
Gambar 2.6	Penampung air (Sarath TM, 2013)	13
Gambar 2.7	Tegangan keluaran MEMS sensor tekanan	13
Gambar 3.1	Tahapan diagram alir data penelitian	15
Gambar 3.2	Sensor tekanan MIDAS pressure transmitter (jumo)	15
Gambar 3.3	Sensor temperatur PT100 (Ziehl industrie-elektronik(2014))	16
Gambar 3.4	Tangki proses minyak kelapa di perusahaan	18
Gambar 3.5	Prototype alat pengukuran level minyak kelapa	18
Gambar 3.6	Blok diagram sistem pengukuran level minyak kelapa	19
Gambar 3.7	Rangkaian Pengkondisi Sinyal sensor PT100 dan tekanan	20
Gambar 3.8	Grafik Hubungan linier antara arus dan tekanan	22
Gambar 3.9	Rangkaian tegangan referensi dan minimum sistem Atmega16	24
Gambar 3.10	Rangkaian pengkondisi sinyal dan subtractor	25
Gambar 4.1	(a) Bentuk Prototype meknik pengukuran level	27
	(b) Penataan Sensor takanan dan PT100	27
Gambar 4.2	(a) Panel elektronik dan Seven segment	28
	(b) Rangkaian elektronik dalam panel	28
Gambar 4.3	Grafik Hubungan massa jenis kelapa terhadap temperatur	29
Gambar 4.4	Rangkaian pengukuran sensitifitas sensor tekanan	30

Gambar 4.5	Sensitifitas tegangan keluaran sensor tekanan.....	30
Gambar 4.6	Sensitifitas arus keluaran sensor tekanan	31
Gambar 4.7	Akurasi sensor tekanan.....	32
Gambar 4.8	<i>Hysteresis</i> sensor tekanan.....	33
Gambar 4.9	<i>Linieritas</i> sensor tekanan.....	33
Gambar 4.10	<i>Repeatability</i> sensor tekanan	35
Gambar 4.11	Pengukuran rangkaian pengkondisi sinyal	36
Gambar 4.12	Grafik hasil pengukuran level	37
Gambar 4.13	Perbandingan pengukuran level saat temperatur dinaikkan dengan massa jenis yang dipengaruhi dan tidak dipengaruhi temperatur.....	38
Gambar 4.14	Alat kalibrasi dilapangan.....	39
Gambar 4.15	Penempatan sensor saat kalibrasi	39
Gambar 4.16	Panel elektronik dan sensor saat kalibrasi.....	40
Gambar 4.17	Grafik hasil kalibrasi dilapangan.....	40
Gambar 4.18	Peletakan sensor tekanan, PT100 dan panel elektronik.....	41
Gambar 4.19	Peletakan sensor tekanan, PT100 pada pipa saluran tangki minyak	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengukuran massa jenis dalam fungsi temperatur	8
Tabel 2.2	Nilai massa jenis pada jenis-jenis <i>vegetable oil</i> (Bernat Esteban, 2012)	8
Tabel 2.3	Koefisien temperatur tahanan dari beberapa jenis logam (William C.Dunn, 2015)	14
Tabel 3.1	Rencana kegiatan penelitian	20



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fluida adalah zat yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain secara kontinyu. Biasanya mencakup zat cair, sebaliknya benda-benda keras atau zat padat tidak digolongkan ke dalam fluida karena tidak bisa mengalir. Susu, minyak pelumas, dan air merupakan contoh zat cair. Selain zat cair, zat gas juga termasuk fluida yaitu mengalir dari tekanan yang tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Hembusan angin merupakan contoh udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Ketahanan fluida terhadap bentuk sangat kecil oleh karena itu dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruangnya. Sifat ini dikarenakan sebuah fungsi dari ketidakmampuannya untuk membentuk tegangan geser (*Shear Stress*) didalamnya.

Fluida mempunyai beberapa sifat fisis yang penting yaitu massa jenis, rapat massa, volume spesifik, elastisitas, dan kekentalan (Tipler, 1998). Didalam keadaannya fluida dibagi menjadi dua sistem yaitu fluida statis dan fluida dinamis. Fluida statis adalah dimana fluida sedang dalam keadaan diam pada keadaan setimbang, sedangkan fluida dinamis adalah fluida dalam keadaan bergerak yang alirannya berbentuk lurus (laminar) dan turbulen.

Penerapan hukum-hukum fluida banyak dijumpai pada dunia industri untuk mengukur suatu besaran seperti tekanan (*pressure*), debit (*flow*) dan level dari suatu zat cair atau gas (J. Michael Jacob, 1989). Salah satu contohnya penelitian yang akan dilakukan pada salah satu perusahaan di Gresik. Perusahaan ini bergerak dibidang minyak kelapa yang mengolah minyak kelapa menjadi minyak setengah jadi dan jadi. Dalam studi kasusnya, perusahaan ini ingin melihat jumlah hasil produksinya (minyak kelapa) secara akurat yang tersimpan didalam tangki proses minyak yang berukuran diameter 4m dan tinggi 12m, yaitu dengan mengetahui level minyak yang ada didalam tangki proses kemudian dihitung volumenya. Pada alat pengukuran level sebelumnya, pengukuran level hanya dilakukan dengan menggunakan sensor tekanan, akan tetapi hasil yang didapat kurang akurat dan tidak stabil. Sehingga alat tersebut tidak dipakai dan

sekarang pengukurannya dilakukan secara manual yaitu dengan memasukkan tali tamper kedalam tangki proses dari minyak kelapa.

Metode yang dipakai untuk mengukur level minyak kelapa adalah dengan menerapkan hukum-hukum fluida statis yang menggunakan hubungan antara tekanan yang diberikan dengan level minyak pada tangki proses. Alasan penggunaan metode ini karena minyak tersebut memiliki temperatur sampai 80°C dan fabrikasinya lebih mudah. Jika pengukurannya menggunakan metode seperti gelombang ultrasonik atau sensor jarak (V.E.Sakharov,2002), kapasitansi (Baoquan, 2015) dan fiber optik (Weihua Zhang,2014) seperti pada peneliti sebelumnya maka akan menemukan beberapa kendalanya yaitu seperti pada proses fabrikasinya. Hal ini dikarenakan tangki proses minyak kelapa memiliki ketinggian 12m dengan temperatur sampai 80°C. Selain itu juga keadaan tangki yang terisi minyak dan tertutup kecuali hanya ada lubang untuk sirkulasi udara. Akan tetapi permasalahan yang muncul bila menerapkan hukum fluida adalah ketergantungan dari karakteristik minyak kelapa tersebut seperti hubungan massa jenis dengan temperatur karena dua besaran tersebut memiliki pengaruh didalam menentukan tekanan dari minyak kelapa. Sehingga pada penelitian ini, dilakukan eksperiment untuk mencari nilai massa jenis minyak kelapa dengan nilai temperatur yang berbeda-beda. Pada perancangan alat ini, dipakai termokopel untuk mengukur temperatur minyaknya, sehingga nilai massa jenis minyak kelapa akan dapat berubah mengikuti nilai temperaturnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berkaitan dengan permasalahan yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Bagaimana merancang dan membuat sensor level berbasis sensor tekanan pada minyak kelapa dalam tangki proses.
2. Bagaimana menentukan massa jenis minyak kelapa pada temperatur yang berbeda-beda.
3. Bagaimana menghubungkan dan keterkaitan data pembacaan sensor temperatur dan tekanan terhadap level minyak kelapa dalam tangki proses.

4. Bagaimana mendapatkan data pembacaan ketinggian minyak kelapa yang stabil dan memiliki kesalahan pembacaan maksimal 10%.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Minyak kelapa yang digunakan adalah minyak setengah jadi.
2. Mencari nilai massa jenis minyak kelapa terhadap perubahan temperatur dengan melakukan eksperimen.
3. Mengabaikan pengurangan minyak kelapa yang tersimpan dalam tangki penimbun akibat faktor penguapan.
4. Nilai massa jenis minyak kelapa dalam tangki dianggap sama atau seragam disemua titik dan juga dengan temperaturnya.
5. Sensor tekanan yang digunakan memiliki jangkauan dari 0 sampai 1,6 bar dan dapat bekerja pada temperatur -40°C sampai 125°C .

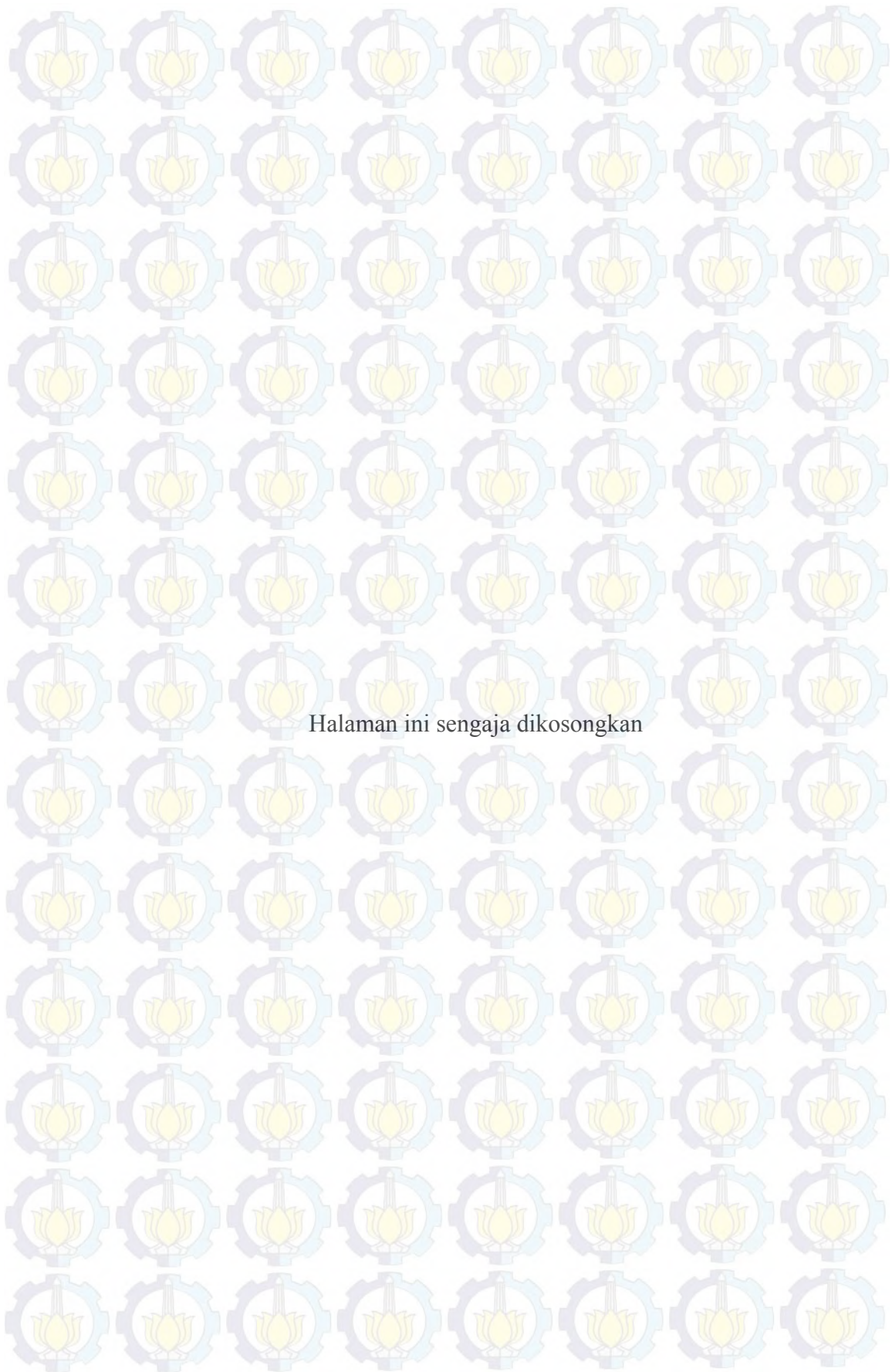
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis karakteristik fisis seperti massa jenisnya dari minyak kelapa terhadap temperatur.
2. Menerapkan hukum-hukum fluida statis pada dunia industri didalam mengukur level minyak kelapa didalam tangki proses.
3. Merancang sensor tekanan yang digunakan untuk mengukur level minyak kelapa dalam tangki proses dengan kesalahan tidak lebih dari 10%.

1.5 Manfaat Penelitian

Setelah program penelitian ini dilaksanakan, diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang fluida dan karakteristik zat terutama zat cair pada minyak kelapa. Selain itu, diharapkan pengukuran level minyak kelapa memiliki akurasi yang tinggi atau kesalahan pembacaan tidak lebih dari 10% sehingga prediksi hasil proses produksi mempunyai kesalahan yang kecil.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Minyak Goreng

Minyak goreng adalah minyak yang berasal dari lemak tumbuhan atau hewan yang dimurnikan dan berbentuk cair dalam suhu kamar dan biasanya digunakan untuk menggoreng makanan. Minyak goreng dari tumbuhan biasanya dihasilkan dari tanaman seperti kelapa, biji-bijian, kacang-kacangan, jagung, kedelai, dan kanola. Minyak goreng biasanya bisa digunakan hingga 3 - 4 kali penggorengan. Jika digunakan berulang kali, minyak akan berubah warna. Saat penggorengan dilakukan, ikatan rangkap yang terdapat pada asam lemak tak jenuh akan putus membentuk asam lemak jenuh. Minyak yang baik adalah minyak yang mengandung asam lemak tak jenuh yang lebih banyak dibandingkan dengan kandungan asam lemak jenuhnya (Ketaren, 1986).

Parameter kualitas minyak goreng meliputi sifat fisik dan sifat kimia. Sifat fisik minyak meliputi warna, bau, kelarutan, titik cair dan *polimorphism*, titik didih, titik pelunakan, *slipping point*, *shot melting point*, bobot jenis, viskositas, indeks bias, titik kekeruhan (*turbidity point*), titik asap, titik nyala dan titik api. Sedangkan sifat kimia terdiri dari hidrolisa, oksidasi, hidrogenasi, esterifikasi (Ketaren, 1986).

2.2 Menentukan Massa Jenis Menggunakan Hubungan Temperatur dan Tekanan

2.2.1 Perubahan Dimensional Akibat Koefisien Muai Termal dan Temperatur

Zat cair mempunyai sifat bentuknya selalu mengikuti bentuk ruang yang ditempatinya. Jika suatu fluida dipanaskan dengan temperatur tertentu, maka akan mengalami perubahan dimensi seperti pemuaian, penyusutan, penguapan dan lain-lain. Perubahan dimensional itu tak lain dipengaruhi dari kemampuan dari bahan atau fluida itu sendiri yang merupakan karakteristik dari bahan tersebut seperti koefisien muai, untuk luasan atau volum, konduktivitas, resistivitas dan

sebagainya (Van Vlack, 1995). Adapun faktor luar yang dapat mempengaruhi perubahan dimensi dari suatu bahan yaitu temperatur.

Semakin tinggi temperatur fluida zat cair akan menambah frekuensi getaran atom pada fluida zat cair tersebut sehingga akan menambah jarak rata-rata dari masing-masing atom. Keadaan ini akan mempengaruhi nilai koefisien volumetrik atau disebut juga pemuaian volum akibat panas (Da silva, 2013). Persamaan untuk mendefinisikan pemuaian koefisien volum yang disebabkan temperatur dengan tekanan tetap (padilha, 1997), yaitu:

$$\gamma = \left(\frac{1}{V} \right) \times \frac{\partial V}{\partial T} \dots\dots\dots (2.1)$$

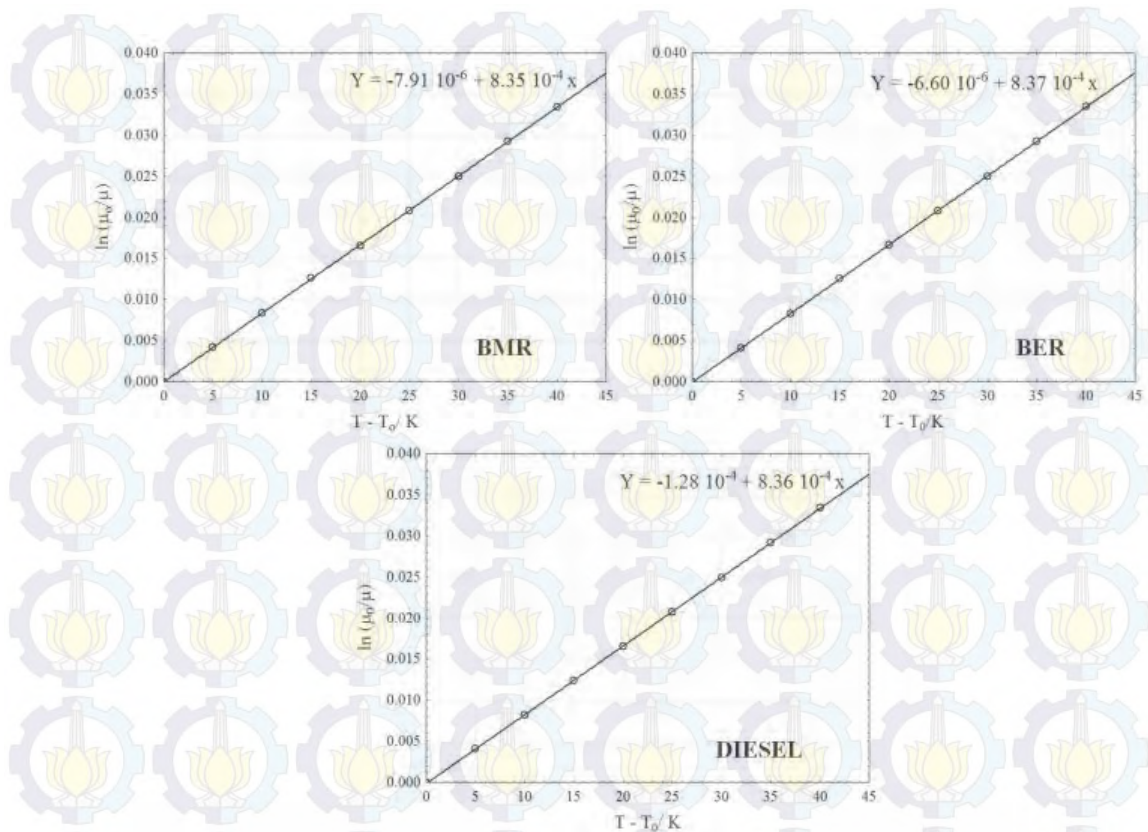
Dimana γ : Koefisien volumetrik ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

V : Volum fluida (m^3)

T : Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Pada penelitian sebelumnya (Da silva, 2013) telah dilakukan eksperimen untuk mencari nilai koefisien muai volumetrik pada fluida jenis metil (BMR) dan etil (BER) biodiesel dari minyak residu dan dibandingkan dengan minyak diesel. Hasil yang didapat untuk nilai koefisien muainya yaitu untuk minyak diesel $8,36 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 0,06 \times 10^{-4}$, BER $8,35 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 0,02 \times 10^{-4}$ dan BMR $8,37 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 0,01 \times 10^{-4}$.

Bila menggunakan hubungan linier regresif dari $\ln(\mu_0/\mu)$ dengan $(T-T_0)$, dengan μ_0 adalah massa jenis awal dan T_0 adalah temperatur awal sedangkan μ dan T adalah massa jenis dan temperatur akhir, maka didapat grafik seperti pada Gambar 2.1 (Da silva, 2013).



Gambar 2.1 Grafik untuk menentukan koefisien muai panas dari BMR, BER dan minyak diesel

Pemuaian dipengaruhi oleh jenis bahan masing-masing. Jika pemuaian terjadi pada zat padat maka jenis pemuaianya disebut pemuaian luas dan panjang, tetapi kalau terjadi pada zat cair disebut pemuaian volum (Tipler,1998). Minyak tergolong didalam zat cair, oleh karena itu mengalami pemuaian volume. Pada persamaan muai volume, dapat terlihat bahwa pemuaian ini mempunyai nilai karakteristik dari zat cair tersebut yang mana dapat dituliskan dalam persamaan

$$V_t = V_0(1 + \gamma \Delta T) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana V_0 : volum awal dari minyak (m^3)

γ : koefisien muai dari minyak ($m^3/m^3^{\circ}C$)

ΔT : perubahan temperatur ($^{\circ}C$)

2.2.2 Hubungan Massa Jenis dan Tekanan

Gambar 2.2 memperlihatkan suatu cairan didalam sebuah silinder yang dilengkapi dengan sebuah penghisap. p_0 adalah tekanan luar, maka tekanan p disuatu titik P yang sebarang berjarak h dibawah permukaan yang sebelah atas dari cairan diberikan dengan persamaan (Pantur Silaban, 1985).

$$p = p_0 + \rho gh \dots\dots\dots (2.3)$$

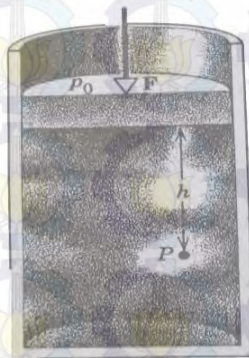
dimana p : tekanan dititik P (Nm^{-2})

p_0 : tekanan luar (Nm^{-2})

g : konstanta gravitasi bumi ($9,8 \text{ ms}^{-2}$)

ρ : massa jenis fluida (kgm^{-3})

h : jarak titik P terhadap permukaan atas fluida (m)



Gambar 2.2. Fluida dilengkapi dengan penghisap bergerak

2.2.3 Hubungan Massa Jenis dan Temperatur

Massa jenis dapat didefinisikan sebagai kerapatan suatu zat yang dinyatakan dalam banyaknya zat (massa) per satuan volume (Tipler,1998).

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana ρ : massa jenis fluida (kgm^{-3})

m : massa fluida (kg)

V : volum fluida (m^3)

Jika melakukan integral dari persamaan 2.1, mensubsitusikan variabel volum untuk massa jenis, maka didapat nilai massa jenis dari ketiga minyak ini dalam fungsi temperatur seperti pada Tabel 2.1 (Da silva, 2013).

Tabel 2.1 Pengukuran massa jenis dalam fungsi temperatur

T/°C	BER (kg m ⁻³)	BMR (kg m ⁻³)	DIESEL (kg m ⁻³)
10	884.4	888.1	862.2
15	880.8	884.4	858.7
20	877.1	880.7	855.2
25	873.4	877.0	851.7
30	869.8	873.5	848.1
35	866.2	869.8	844.6
40	862.6	866.2	841.0
45	858.9	862.5	837.5
50	855.3	858.9	833.9

Pada penelitian sebelumnya (Bernat Esteban, 2012), telah melakukan perhitungan secara matematik untuk mencari hubungan nilai massa jenis terhadap temperatur pada minyak tumbuhan (*vegetable oil*) yang dipakai pada diesel dan biodiesel.

Tabel 2.2 Nilai massa jenis pada jenis-jenis *vegetable oil* (Bernat Esteban, 2012)

Temp. (°C)	Density (g cm ⁻³)							
	Diesel	BD100	Rapeseed	Sunflower	Soybean	Palm	Corn	Grapeseed
10	0.8376	0.8859	0.9210	0.9251	0.9254	—	0.9237	0.9259
20	0.8308	0.8798	0.9145	0.9169	0.9185	—	0.9167	0.9188
30	0.8242	0.8717	0.9080	0.9114	0.9127	—	0.9113	0.9126
40	0.8181	0.8641	0.9027	0.9043	0.9061	0.8996	0.9046	0.9060
50	0.8114	0.8583	0.8963	0.8994	0.8998	0.8922	0.8979	0.8998
60	0.8043	0.8513	0.8911	0.8926	0.8941	0.8845	0.8920	0.8941
70	0.7970	0.8433	0.8848	0.8877	0.8879	0.8789	0.8864	0.8874
80	0.7890	0.8372	0.8777	0.8798	0.8817	0.8721	0.8801	0.8813
90	0.7825	0.8287	0.8724	0.8743	0.8750	0.8664	0.8740	0.8754
100	0.7759	0.8229	0.8658	0.8670	0.8689	0.8595	0.8678	0.8695
110	0.7708	0.8150	0.8593	0.8602	0.8626	0.8536	0.8610	0.8626
120	0.7636	0.8075	0.8537	0.8536	0.8566	0.8457	0.8555	0.8570
130	0.7577	0.8002	0.8469	0.8472	0.8498	0.8407	0.8489	0.8505
140	0.7516	0.7912	0.8395	0.8408	0.8430	0.8325	0.8424	0.8440

Peran temperatur mampu merubah sifat makro dan mikro dari suatu bahan khususnya fluida. Sifat makronya kita dapat melihat bahwa fluida mampu mengalami perubahan dimensional dengan membuat volume minyak meningkat akibat adanya peningkatan temperatur itulah yang disebut pemuaian. Sedangkan sifat mikro dapat ditandai dengan proses pemuaian yang mampu merubah nilai densitas dari. Perubahan masaa jenis fluida zat cair akibat perubahan volum

pemuaian ini disebut massa jenis termal (ρ_t) yang hubungannya dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$\rho_t = \frac{m}{V_t} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\rho_t = \frac{m}{V_0(1 + \gamma\Delta T)} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana ρ_t : Massa jenis fluida setelah pemuaian (kg/m^3)

m : Massa fluida (kg)

V_t : Volum fluida setelah pemuaian (m^3)

Menurut persamaan (2.5) diatas, bahwa perubahan volum dan massa jenis memiliki hubungan saling berkebalikan, sedangkan volum dipengaruhi oleh temperatur. Dengan menganggap massa fluida tetap, maka dapat disimpulkan, jika temperatur naik maka volum akan bertambah dan akan mengakibatkan massa jenis dari fluida semakin turun.

Dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.4, maka nilai massa jenis berdasarkan koefisien muai volum akibat variasi temperatur dapat diketahui dengan membandingkan nilai densitas awal dan saat ini dengan menganggap masanya tetap.

$$V_t = V_0(1 + \gamma \Delta T) \quad \text{dan} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Sehingga, $V_0 = \frac{m}{\rho_0}$ dan $V_t = \frac{m}{\rho_t} \dots\dots\dots (2.7)$

Substitusi persamaan 2.2 dan 2.7.

$$V_t = V_0(1 + \gamma \Delta T)$$

$$\frac{m}{\rho_0} = \frac{m}{\rho_t} (1 + \gamma \Delta T)$$

$$\rho_0 = \rho_t (1 + \gamma \Delta T)$$

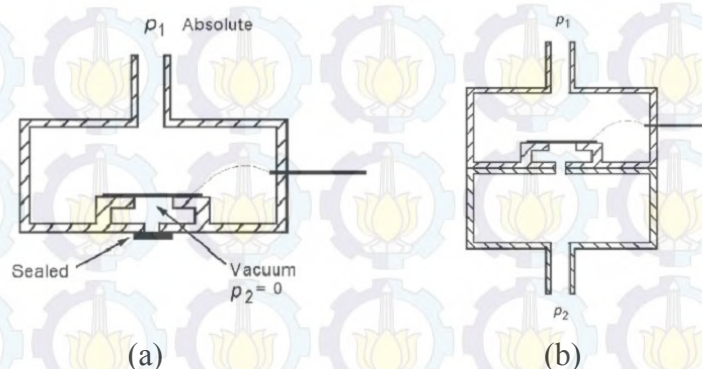
$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \gamma \Delta T} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.3 Sensor Fluida

Sensor fluida dibagi menjadi tiga kelompok menurut parameter yang diukur yaitu, tekanan (*pressure*), ketinggian (*level*), dan debit atau aliran (*flow*) (J.Michael Jacob, 1989). Sensor fluida ini banyak dijumpai pada dunia industri seperti pada industri yang memproses makanan, pembuatan obat dan zat kimia, dan industri produksi minyak. Salah satu contohnya adalah pengaturan pompa yang dipakai untuk memberikan aliran atau tekanan zat cair atau gas tertentu yang mengalir dalam sebuah pipa.

2.3.1 Sensor Tekanan

Tekanan merupakan besaran gaya yang diberikan persatuan luas. Didalam mengukur tekanan, diperlukan tekanan pembanding yang dinamakan sebagai tekanan referensi (J.Michael Jacob, 1989). Sehingga secara teknik, pengukur tekanan membutuhkan dua jalur, yaitu satu jalur untuk tekanan yang diukur dan jalur lainnya sebagai referensi. Jika tekanan referensinya yang digunakan adalah nol (*vacuum*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.3a, maka jenis pengukuran tekanan tersebut disebut *absolut pressure*. *Absolut pressure* sering dipakai untuk mengukur tekanan udara pada permukaan bumi atau yang disebut barometer. Dan jika menggunakan perbedaan tekanan antara dua jalur tersebut seperti pada Gambar 2.3b, maka disebut sebagai *differential pressure*, sebagai contohnya adalah dipakai untuk mengukur tekanan aliran udara yang masuk pada pompa roda kendaraan.



Gambar 2.3. Perbedaan pengukuran tekanan (a) *absolut pressure*
(b) *differential pressure* (J.Michael Jacob, 1989)

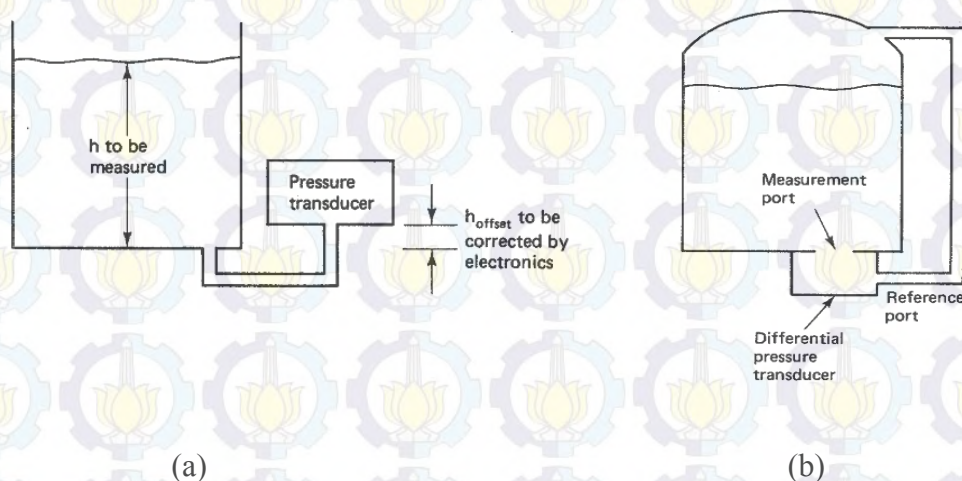
Sedangkan pengukuran tekanan yang memiliki hubungan antara tinggi dan densitas zat cair, maka jenis pengukuran tekanan tersebut disebut sebagai *head pressure*. Cara pengukuran *head pressure* seperti yang terlihat pada Gambar 2.4, dimana sensor atau transduser tekanan ditempatkan didasar dari zat cairnya. Metode ini merupakan penerapan dari hukum-hukum fluida, sehingga besarnya nilai tekanannya dapat dirumuskan sebagai (J.Michael Jacob, 1989).

$$P = \rho gh \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana: P : tekanan (N/m^2)
 ρ : konstanta gravitasi bumi $9,8 \text{ m/s}^2$
 h : tinggi zat cair (m).

2.3.2 Sensor Level

Metode pengukuran level dapat dibagi menjadi dua, yaitu pengukuran langsung dan tak langsung (William C.Dunn, 2005). Besaran tekanan sering dipakai sebagai metode tidak langsung didalam mengukur level suatu zat cair. Nilai tekanan akan bertambah sebanding dengan bertambahnya zat cair tersebut. Sehingga hubungan tekanan dengan tinggi zat cair dirumuskan seperti pada persamaan 2.10.



Gambar 2.4. Pengukuran ketinggian dengan sensor tekanan (a) pada tangki terbuka (b) pada tangki tertutup (J.Michael Jacob, 1989)

Akan tetapi, metode pengukuran seperti ini memiliki beberapa batasan seperti (J.Michael Jacob, 1989):

1. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik, maka zat cairannya harus sejenis karena akan berpengaruh pada nilai densitasnya.
2. Pembacaan level oleh sensor tekanan seperti yang terlihat pada Gambar 2.3a, maka h_{offset} dapat dihilangkan dengan menambah atau mengurangi pengukuran tekanannya atau dengan sistem koreksi pada rangkaian pengkondisian sinyalnya agar didapat titik nolnya.

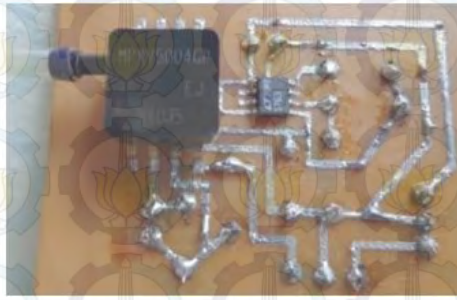
Dalam Gambar 2.3a, keadaan tangki terbuka terhadap tekanan atmosfer, maka dapat menerapkan persamaan dari *head pressure* dan untuk jenis sensor atau transduser yang dipakai adalah jenis pengukuran *gage pressure* (pengukuran tekanan yang relatif dengan tekanan atmosfer). Akan tetapi jika tangki keadaan tertutup (*vacum*) seperti pada Gambar 2.3b, maka besar tekanannya tidak hanya tergantung dari zat cairnya, tetapi juga dipengaruhi oleh tekanan udara yang berada pada ruang hampa tersebut. Sehingga tekanan udara tersebut dijadikan sebagai tekanan referensi. Kasus seperti ini dapat langsung diukur dengan menggunakan sensor atau transduser jenis *differential pressure* dan nilai tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut (J.Michael Jacob, 1989).

$$P_{\text{bottom}} = \rho g h + P_{\text{top}}$$

$$h = \frac{P_{\text{bottom}} - P_{\text{top}}}{\rho g} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana: P_{bottom} : tekanan dari zat cair yang diukur (Nm^{-2})
 P_{top} : tekanan udara pada ruang hampa (Nm^{-2})

Pengukuran level air dengan sensor tekanan pernah dilakukan pada peneliti sebelumnya (Sarath TM, 2013), dengan jenis sensor tekanan yang dipakai adalah MPXV5004GP (Gambar 2.5) dengan penampung airnya memiliki ukuran 25x 25x 50 cm (Gambar 2.6).

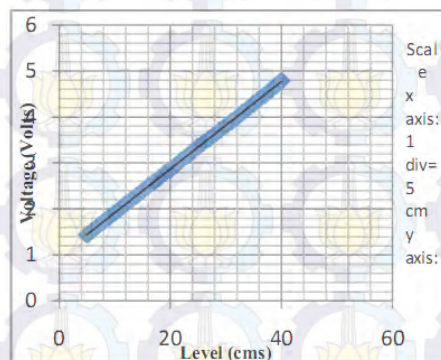


Gambar 2.5 MEMS sensor tekanan (Sarath TM, 2013)



Gambar 2.6 Penampung air (Sarath TM, 2013)

Hasil dari pengukuran dari penelitian ini (Sarath TM, 2013), memiliki hubungan yang sebanding antara tegangan keluaran sensor dengan perubahan level air. Untuk perubahan level air setiap cm, tegangan keluar sensornya berubah dengan rata-rata 0,1 V. Gambar 2.7 menunjukkan grafik antara tegangan keluaran sensor dengan ketinggian air (Sarath TM, 2013).



Gambar 2.7 Tegangan keluaran MEMS sensor tekanan

2.4 RTD (*Resistance Thermal Detector*)

Resistance Thermal Detector (RTD) atau dikenal dengan detektor temperatur tahanan adalah sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran suatu temperatur dengan menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Semakin panas benda tersebut, semakin besar atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. PT100 merupakan tipe RTD yang paling populer yang digunakan di industri.

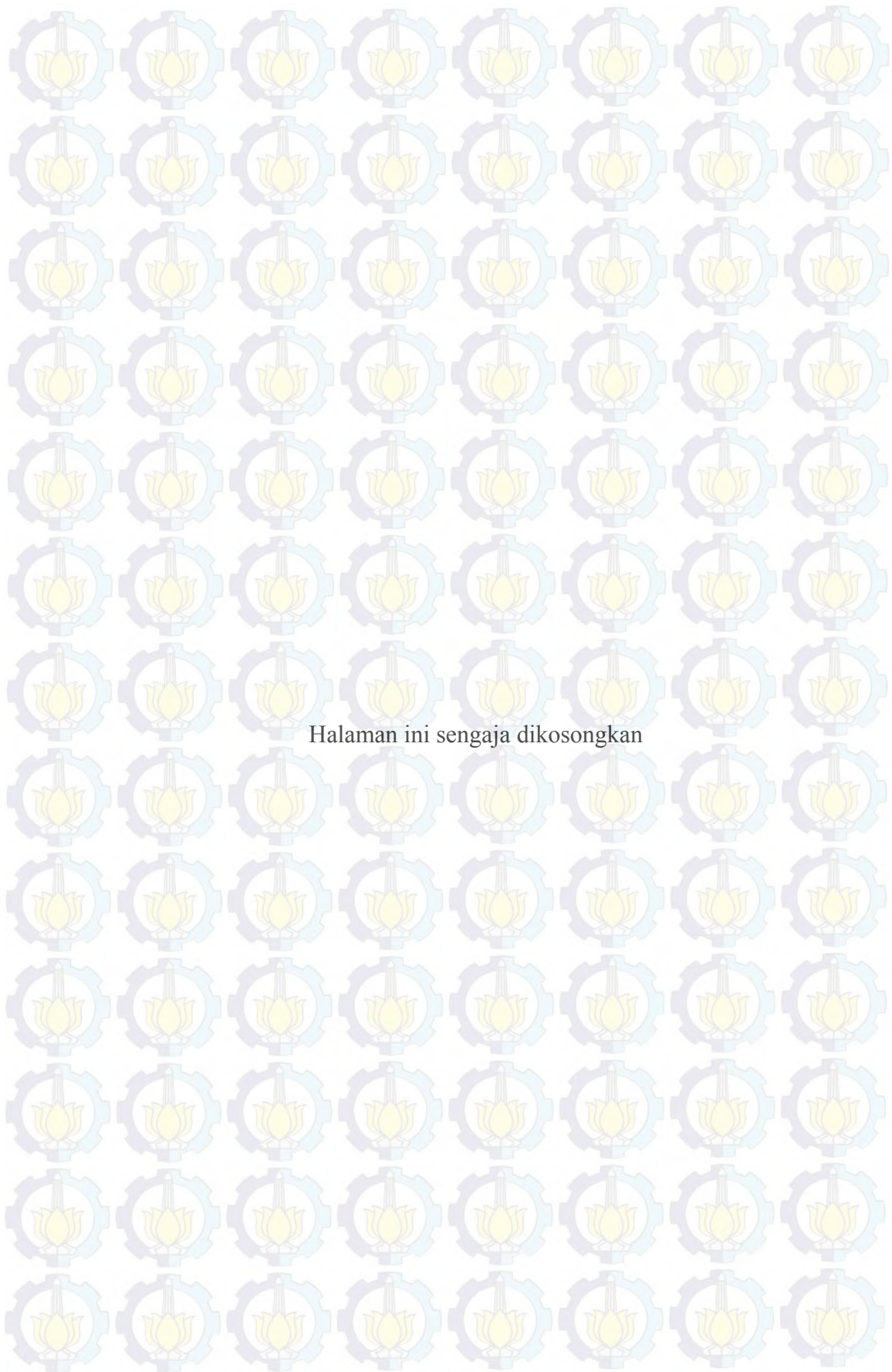
Tabel 2.3 ditunjukkan koefisien dari resistansi untuk beberapa jenis logam atau konduktor yang digunakan pada resistansi termometer. Sensor ini memiliki jangkauan pengukuran dari -170°C sampai 780°C. Hubungan resistansi dengan temperatur diberikan seperti pada persamaan 2.11 (William C.Dunn, 2005).

$$R_{T_2} = R_{T_1} (1 + \text{Koef} [T_2 - T_1]) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana: R_{T_2} : Resistansi konduktor pada temperatur T_2
 R_{T_1} : Resistansi konduktor pada temperatur T_1 (temperatur awal)
 Koef : Koefisien temperatur tahanan

Tabel 2.3 Koefisien temperatur tahanan dari beberapa jenis logam
 (William C.Dunn, 2005)

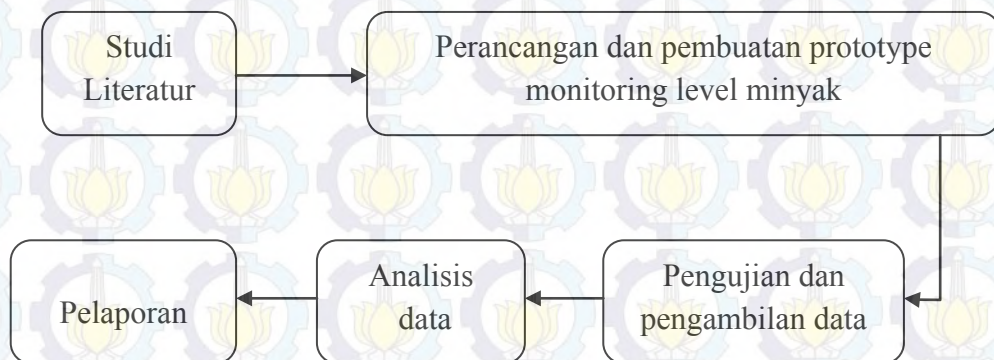
Material	Coeff. per degree Celsius	Material	Coeff. per degree Celsius
Iron	0.006	Tungsten	0.0045
Nickel	0.005	Platinum	0.00385



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahap – Tahap Penelitian

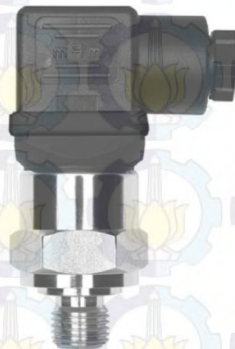
Dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan dan pembuatan sistem monitoring level minyak kelapa dalam tangki, dengan tahapan pelaksanaan penelitian seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan diagram alir data penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya adalah rangkaian minimum sistem ATmega16, rangkaian pengkondisi sinyal, sensor tekanan MIDAS Pressure transmitter (Gambar 3.2), sensor temperatur PT100 (Gambar 3.3), timbangan digital dan modul seven segment. Bahan yang digunakan antara lain minyak kelapa, pipa transparan atau bening berukuran $\frac{1}{2}$ in dengan panjang 1,5m, valve.



Gambar 3.2 Sensor tekanan MIDAS pressure transmitter (jumo)



Gambar 3.3 Sensor temperatur PT100 (Ziehl industrie-elektronik(2014))

3.3 Parameter Pengukuran

Parameter pengukuran pada penelitian ini antara lain

1. Massa jenis minyak kelapa (kgm^{-3})

Untuk mencari nilai massa jenis ini dilakukan dengan eksperimen, yaitu dengan cara mengambil sample minyak kelapa dari perusahaan yang menjadi sasaran penelitian, kemudian menimbanginya dengan jumlah volum yang tetap tetapi nilai temperaturnya berbeda-beda yaitu antara 30°C sampai 100°C .

2. Tekanan (Nm^{-2})

Karena tangki proses minyak kelapa tidak tertutup (tidak hampa udara) maka pengukuran tekanan minyak dilakukan dengan sensor tekanan yang berbasis *gage pressure* seperti pada Gambar 3.2. Material dasar sensor ini adalah alumunium-oxide (Al_2O_3) dan memiliki spesifikasi sebagai berikut (Jumo).

- Jangkauan pengukuran 0 bar sampai 1,6 bar
- Jangkauan keluaran 4mA sampai 20 mA
- Tegangan supply 10V sampai 30V DC
- Penyimpangan dari karakteristiknya $\leq 0,5\%$ dari pembacaan penuh
- Hysteresis lebih kecil dari 0,2% dari pembacaan penuh
- Repeatability lebih kecil dari 0,1% dari pembacaan penuh
- Temperatur kerja dari -40°C sampai $+125^{\circ}\text{C}$

3. Temperatur (°C)

Bahan konduktor perubah resistansi terhadap temperatur dari PT100 yang digunakan adalah menggunakan logam platinum, sehingga nilai koefisien tahanannya seperti pada tabel 2.3 yaitu $0,00385/^{\circ}\text{C}$. Sedangkan besar temperaturnya dicari menggunakan persamaan 2.11.

4. Ketinggian (m)

Untuk mencari ketinggian minyak kelapa dalam tangki yaitu dengan menerapkan hukum fluida statis seperti pada persamaan 2.9, yaitu $p = \rho gh$. Karena pada penelitian ini nilai massa jenis ρ minyak kelapa akan berubah sesuai dengan temperaturnya, maka besar level h menjadi:

$$h = \frac{P}{\rho_{(T)}g}$$

dimana $\rho_{(T)}$ adalah massa jenis minyak kelapa yang merupakan fungsi terhadap temperatur. Karena pada studi penelitian ini temperatur minyak kelapa berubah-ubah dengan batasan maksimal 80°C , maka sebelum mencari nilai tinggi h terlebih dahulu mencari massa jenisnya $\rho_{(T)}$. Massa jenis $\rho_{(T)}$ dicari dengan menggunakan persamaan hasil kurva fitting dari hasil eksperiment.

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, prosedur penelitian dibagi menjadi 2 yaitu perancangan sistem monitoring level minyak kelapa dan pengambilan data.

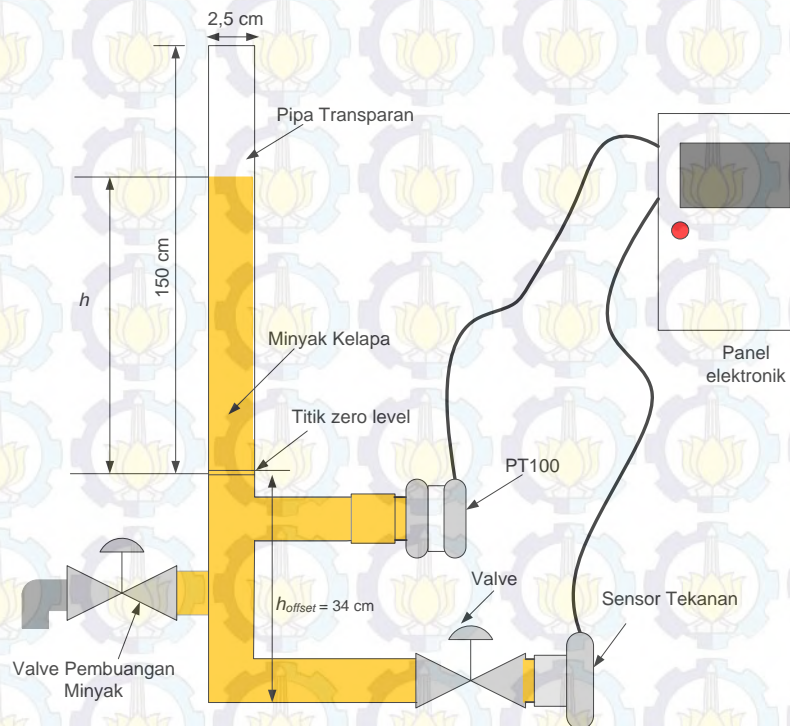
3.4.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem Monitoring Level Minyak Kelapa

Sebelum alat sistem monitoring ini dipakai langsung mengukur level minyak dalam tangki di perusahaan seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, maka dibuat terlebih dahulu prototype dari alat ini. Pembuatan alat prototype ini menggunakan pipa transparan atau bening dengan ukuran (tidak berskala) seperti pada Gambar 3.5. Pipa transparan tersebut adalah sebagai pemodelan dari tangki minyak aslinya yang memiliki tinggi 12 m dan diameter 4 m.



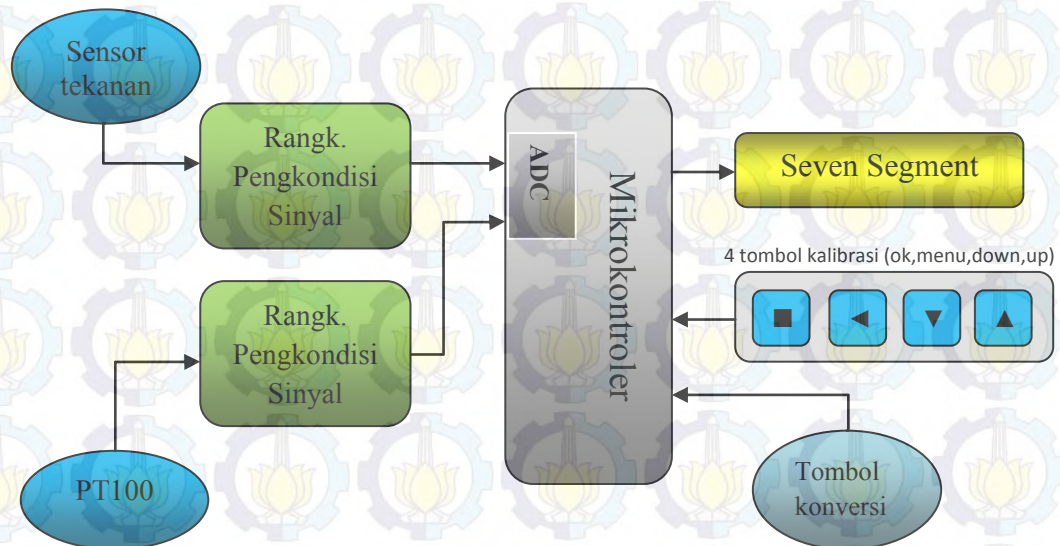
Gambar 3.4 Tangki proses minyak kelapa di perusahaan

Bentuk pemasangan atau posisi peletakan sensor tekanan dan termokopel dilapangannya adalah sama seperti pada Gambar 3.5. Karena sensor tekanan berhubungan atau bersentuhan langsung dengan minyaknya, sehingga untuk menghindari kotoran atau benda kecil yang ada diminyak agar tidak masuk kedalam lubang kecil membran pembacaan tekanannya, maka dipasang filter seperti jaring-jaring.



Gambar 3.5 Prototype alat pengukuran level minyak kelapa

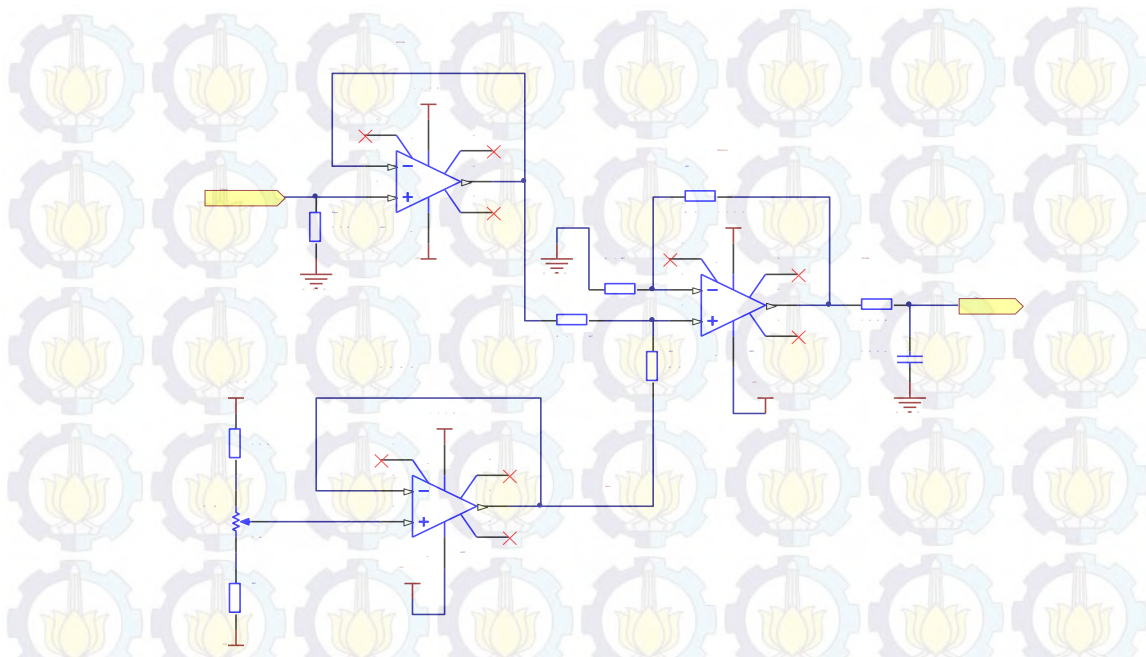
Blok diagram perangkat keras dari sistem monitoring yang akan dibuat seperti pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Blok diagram sistem pengukuran level minyak kelapa

3.4.1.1 Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Keluaran sensor temperatur PT100 dan sensor tekanan memiliki format data keluaran yang sama yaitu format datanya dari 4mA sampai 20mA, sehingga pada penelitian ini pembuatan rangkaian pengkondisi sinyalnya dibuat sama. Rangkaian ini menggunakan amplifier jenis op-07 yang secara keseluruhan terbagi menjadi tiga bagian, yaitu rangkaian *current to voltage converter*, rangkaian penguat dan filter low pass. Berikut adalah Gambar rangkaian pengkondisi sinyal yang dipakai pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian pengkondisi sinyal sensor PT100 dan tekanan

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.7 terdapat V_{ZERO} (*Voltage Zero*) yang digunakan untuk memberikan tegangan nol volt pada tegangan keluaran (V_{out}) melalui pengaturan variabel resistor (V_R) saat masukannya 4 mA. Besarnya V_{out} terhadap masukan arusnya (I_{IN}) dapat dirumuskan seperti dibawah ini (J.Michael Jacob, 1989).

$$V_{OUT} = \frac{R_F}{R_I} I_{IN} R_{span} + V_{ZERO} \dots\dots\dots (3.1)$$

3.4.1.2 Sensitivitas per cm dan Span Sensor Tekanan

Karena pengukuran level minyak kelapa yang diinginkan memiliki ketelitian per cm, maka harus dicari sensitifitasnya untuk keluaran arus sensor, dan tekanannya. Didalam mencari nilai sensitifnya, dipilih keadaan saat temperatur minyak kelapa 90°C dan memilih temperatur 30°C untuk mencari nilai span atau jangkauan maksimal sensornya. Untuk mencari besar tekanan per cm, digunakan rumus $P = \rho gh$, dimana besar ρ memakai besar massa jenis minyak kelapa yang paling kecil yaitu saat temperatur 90°C = 866,28 kg/cm³ dan $h=1$ cm, sehingga nilai tekanannya:

$$\begin{aligned}
 P_{90^\circ} &= \rho gh \\
 &= 866,28 \times 9,8 \times 10^{-2} \\
 &= 84,895 \text{ N/m}^2 = 84,895 \text{ Pa} \\
 &= 84,895 \times 10^{-5} \text{ bar/cm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan bila membandingkan nilai tekanan per cm pada saat temperatur 30°C dengan $\rho = 898,08 \text{ kg/cm}^3$ maka didapat nilai tekanannya

$$\begin{aligned}
 P_{30^\circ} &= \rho gh \\
 &= 898,08 \times 9,8 \times 10^{-2} \\
 &= 88,01 \text{ N/m}^2 = 88,01 \text{ Pa} \\
 &= 88,01 \times 10^{-5} \text{ bar/cm}
 \end{aligned}$$

Jika besar sensitif tekanan per cm minyak kelapa dapat diketahui yaitu minimal $84,895 \times 10^{-5} \text{ bar/cm}$, selanjutnya untuk mencari tekanan maksimal pada minyak kelapa didalam tangki proses dengan tinggi 12 m, yaitu memilih nilai ρ minyak kelapa pada nilai yang terbesar yaitu saat temperatur 30°C yang besarnya $898,08 \text{ kg/m}^3$ dan $h = 12 \text{ m}$, sehingga tekanan maksimalnya adalah

$$\begin{aligned}
 P_{\max 30^\circ} &= \rho gh \\
 &= 898,08 \times 9,8 \times 12 \\
 &= 105614208 \text{ N/m}^2 = 105614208 \text{ Pa} \\
 &= 1,056 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai tekanan maksimal pada minyak kelapa dengan temperatur berubah-ubah sampai 90°C dari ketinggian 0 m sampai 12 m adalah 0 bar adalah sampai 1,056 bar.

Untuk mencari sensitifitas keluaran arus per cm dari sensornya, terlebih dahulu mencari jumlah step (n), jika ukuran tinggi tangki 12 m (1200 cm) terdapat 1200 step dengan per step nya adalah per cm. Sehingga untuk mencari jumlah step sampai dengan tekanan sampai 1,6 bar (span dari sensornya) adalah:

$$n \times \text{tekanan per cm} = 1,6 \text{ bar}$$

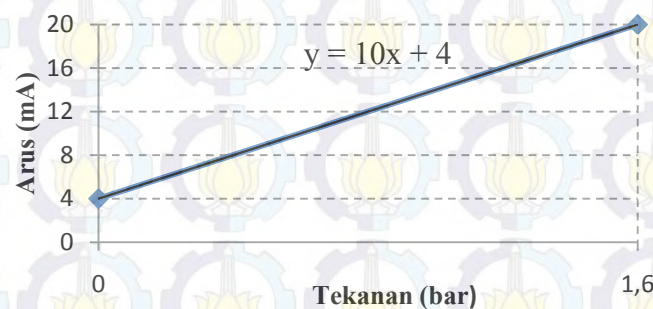
$$n \times 84,895 \times 10^{-5} \text{ bar} = 1,6 \text{ bar}$$

$$n = 1884,68 \text{ step}$$

Sehingga sensitifitas keluaran arus terkecil (ΔI) sensornya dari temperatur minyak kelapa 30°C sampai 90°C dengan span dari sensor 16 mA adalah:

$$\begin{aligned}\Delta I \cdot n &= 16 \text{ mA} \\ \Delta I \cdot 1884,68 &= 16 \text{ mA} \\ \Delta I &= 8,4895 \text{ uA/step} \\ &= 8,4895 \text{ uA/cm}\end{aligned}$$

Untuk mencari keluaran arus (I_{OUT}) maksimal dari sensornya yaitu saat level minyak berada pada level 12 m dengan tekanan yang dihasilkan adalah 1,056 bar, maka I_{OUT} maksimal dapat dicari dengan menggunakan persamaan kurva fitting dari grafik hubungan linier antara variabel keluaran arus dari sensornya dengan variabel tekanan masukannya, seperti yang terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Grafik hubungan linier antara arus dan tekanan

Sehingga nilai I_{OUT} maksimalnya:

$$\begin{aligned}I_{OUT} &= (10 \times 1,056) + 4 \\ &= 10,56 + 4 \\ &= 14,56 \text{ mA}\end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai komponen R_{span} dan faktor penguatan $\frac{R_F}{R_i}$ pada Gambar 3.7 agar didapatkan nilai tegangan 4 mV/cm. Dari perhitungan sebelumnya telah didapat kesebandingan tekanan dengan arus keluarannya yaitu:

$$\begin{aligned}P(a) = 0 \text{ bar} &\rightarrow I(a) = 4 \text{ mA} \\ P(b) = 1,056 \text{ bar} &\rightarrow I(b) = 14,56 \text{ mA}\end{aligned}$$

Jika tegangan sensitivitas yang diinginkan 4 mV/cm, maka didapat tegangan maksimal saat pada level 12 m adalah 4,8 V, sehingga diperoleh kesebandingan

antara arus keluaran sensor dengan tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyalnya.

$$I(a) = 4\text{mA} \rightarrow V(a) = 0\text{V}$$

$$I(b) = 14,56 \text{ mA} \rightarrow V(b) = 4,8 \text{ V}$$

Dengan menggunakan persamaan pada 3.1, jika menganalisa pada titik a dan titik b, didapat persamaan pada titik a:

$$V(a) = \frac{R_F}{R_I} I(a) R_{span} + V_{ZERO} \dots\dots\dots (3.2)$$

Pada titik b:

$$V(b) = \frac{R_F}{R_I} I(b) R_{span} + V_{ZERO} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan mengeliminasi V_{ZERO} pada persamaan 3.2 dan 3.3, sehingga didapat:

$$V(b) - V(a) = \frac{R_F}{R_I} R_{span} [I(b) - I(a)] \dots\dots\dots (3.4)$$

Jika digunakan $R_{span} = 330 \Omega$, maka persamaan 3.4 digunakan untuk mencari faktor penguatan $\frac{R_F}{R_I}$,

$$4,8 - 0 = \frac{R_F}{R_I} 330 [14,56\text{mA} - 4\text{mA}]$$

$$4,8 = \frac{R_F}{R_I} 330 [10,56\text{mA}]$$

$$\frac{R_F}{R_I} = 1,377x$$

Jadi faktor gain yang mendekati $1,377 x$ adalah dengan memilih nilai $R_F = 6\text{K}8\Omega$ dan $R_I = 4\text{K}7 \Omega$, sehingga didapat faktor penguatan $1,446 x$.

Menentukan besar V_{ZERO} agar saat $I(a) = 4 \text{ mA}$, nilai $V(a) = 0 \text{ V}$ adalah dengan memakai persamaan 3.2.

$$V_{ZERO} = V(a) - \frac{R_F}{R_I} I(a) R_{span}$$

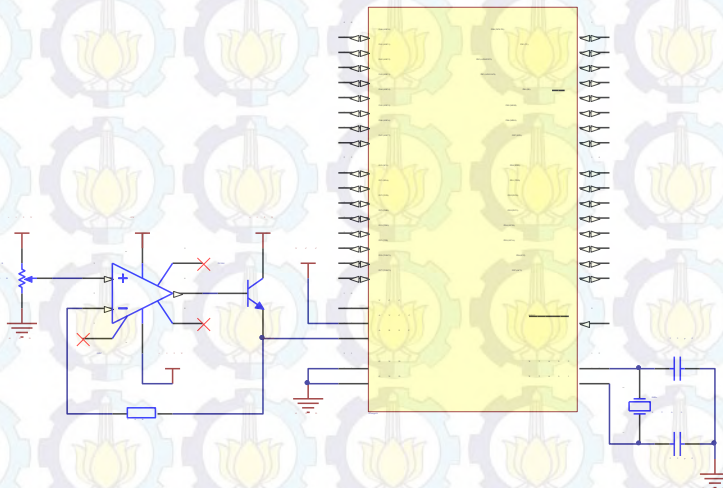
$$\begin{aligned} V_{ZERO} &= 0 - 1,446x4\text{mA}x330 \\ &= -1,908\text{V} \end{aligned}$$

3.4.1.3 ADC internal ATmega16

Karena sensitifitas sensor tekanan 4 mV/cm, maka pada penelitian ini dibuat resolusi ADC-nya adalah 3mV/bit dengan jumlah bitnya 10-bit. Sehingga besar tegangan referensi (V_{REF}) ADC-nya adalah

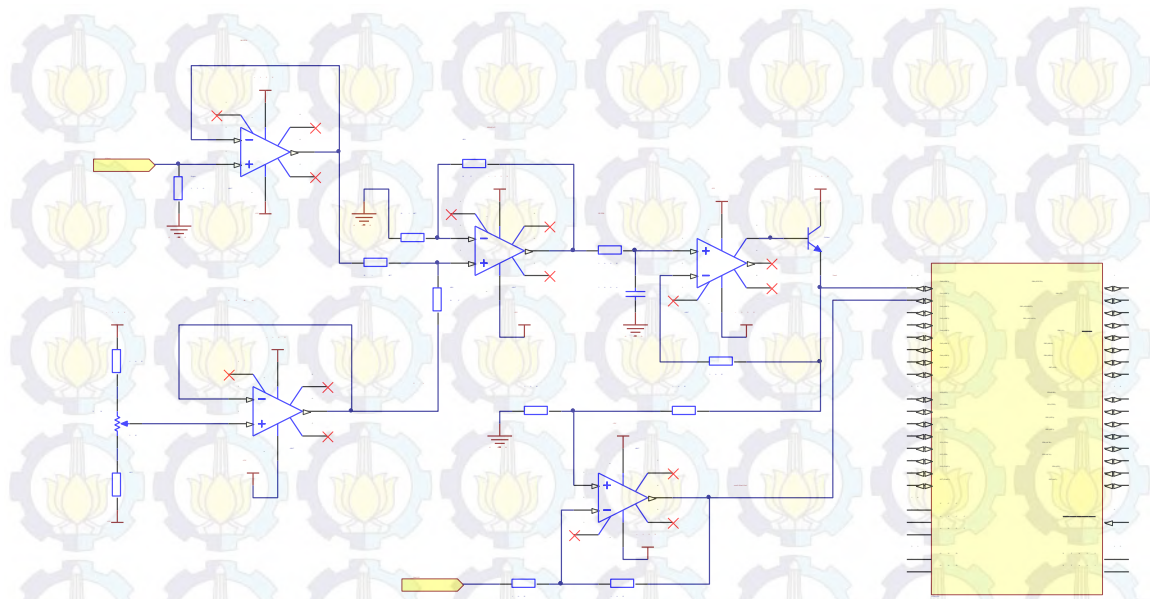
$$\begin{aligned} \text{resolusi} &= \frac{V_{REF}}{1024} \\ &= 3mV \times 1024 \\ &= 3,072V \\ &\approx 3V \end{aligned}$$

Sehingga pada penelitian ini dibuat suatu rangkaian yang dapat memberikan tegangan 3 V ke pin V_{REF} ADC internal Atmega16, dengan rangkaian seperti Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Rangkaian tegangan referensi dan minimum sistem Atmega16

Bila V_{REF} ADC menggunakan tegangan 3 V, maka tegangan maksimal masukan ADC-nya hanya sampai 3 V, sedangkan pada perhitungan sebelumnya keluaran rangkaian pengkondisi sinyal dari sensor sampai 4,8 V, sehingga pada masing-masing rangkaian pengkondisi sinyal ada penambahan berupa rangkaian *subtractor* dan memakai dua *channel* masukan ADC. Berikut adalah rangkaian lengkap pengkondisi sinyal seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Rangkaian pengkondisi sinyal dan *subtractor*

Cara kerja dari rangkaian 3.10 diatas adalah, jika tegangan pada V_{out1} masih dibawah V_{REF} , maka mikrokontroler hanya membaca tegangan masukan pada *channel ADC0* dan tegangan masukan pada *channel ADC1* diabaikan (dianggap 0 V). Akan tetapi jika tegangan V_{out1} diatas V_{REF} , maka mikrokontroler akan berganti membaca tegangan masukan pada *channel ADC1* dan menjumlahkan dengan tegangan masukan pada *channel ADC0*.

3.4.2 Pengujian Hasil

Untuk mendapatkan hasil pengukuran dengan tingkat kesalahan tidak lebih dari 10% dan memiliki sensitivitas perubahan level minyak kelapa setiap satu cm, maka dilakukan beberapa tahapan pengujian, yaitu:

1. Pengujian sensitivitas sensor tekanan dilakukan dengan perubahan level minyak kelapa per cm dengan temperatur ruang ($26 - 30^{\circ}\text{C}$).
2. Pengujian karakteristik statik sensor tekanan.
3. Pengujian pengukuran level dengan dan tanpa parameter temperatur minyak kelapa sebagai fungsi dari massa jenisnya.
4. Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan mengamati pembacaan ketinggian minyak yang telah dipengaruhi hubungan antara tekanan, massa jenis dan temperatur pada tangki di perusahaan.

3.5. Rencana Kegiatan

Waktu pelaksanaan dimulai pada pertengahan Maret 2015(Semester V) selama 18 minggu. Sedangkan tempat pelaksanaannya di Laboratorium Fisika Instrumentasi Jurusan Fisika ITS. Untuk jadwal pelaksanaannya ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian

Kegiatan	Bulan ke					
	1	2	3	4	5	6
1. Penyusunan Proposal Thesis						
2. Penyusunan Penelitian						
3. Pembuatan Hardware						
4. Pembuatan Software						
5. Pengambilan Data						
6. Pengolahan Data						
7. Penyusunan Laporan Thesis						

BAB IV

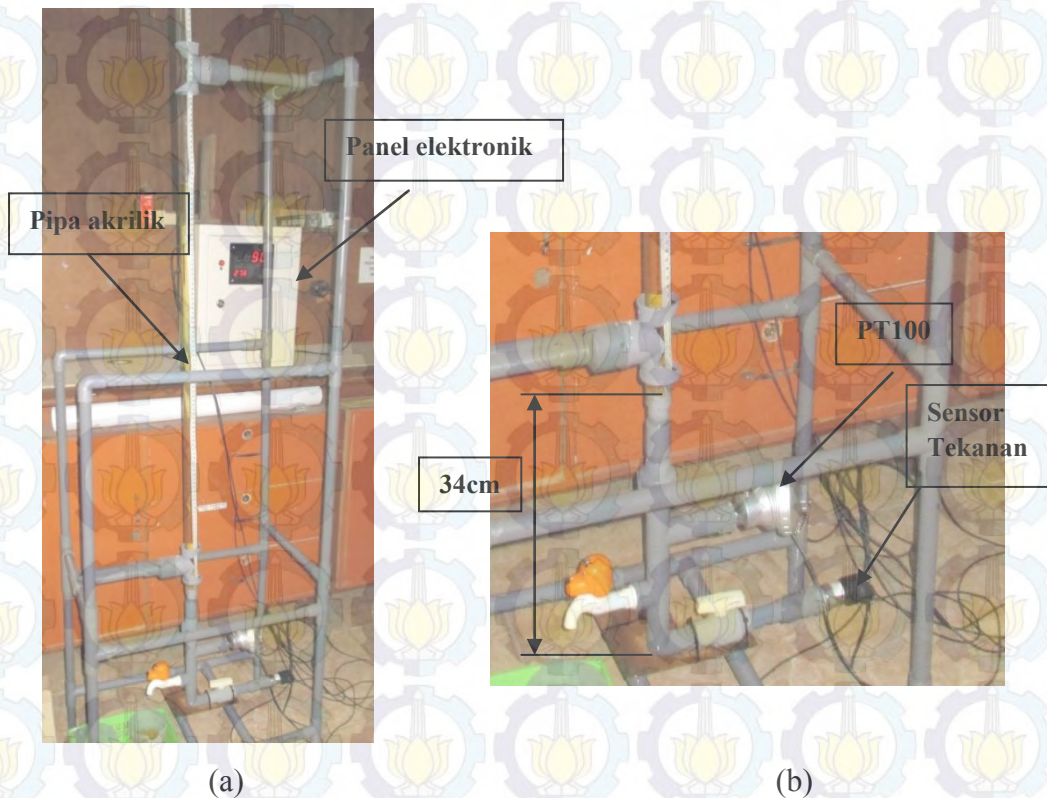
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Realisasi Sistem Instrumentasi

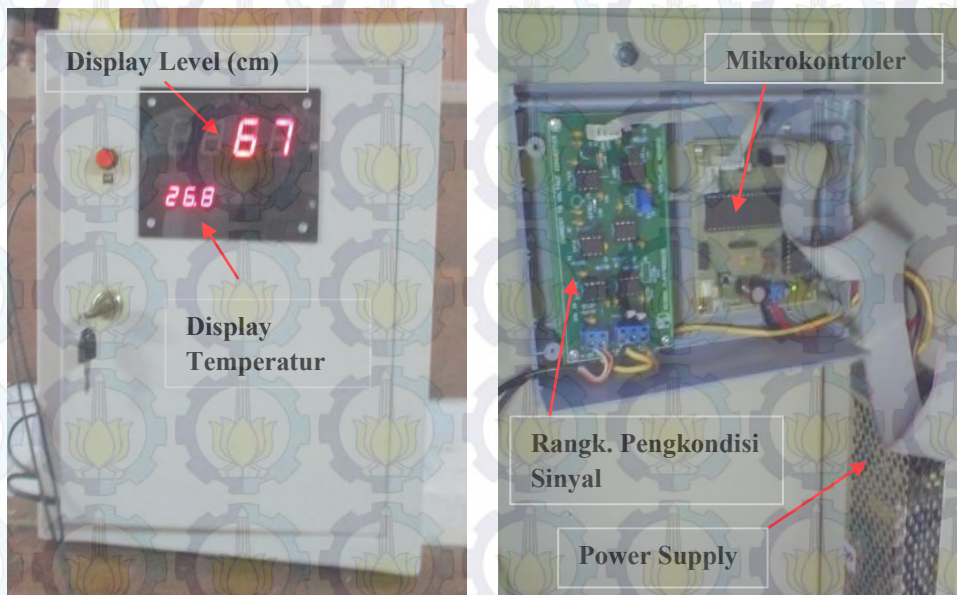
Realisasi sistem instrumentasi yang diharapkan adalah mendapatkan pengukuran level minyak kelapa dengan ketelitian level setiap satu cm, kesalahan tidak lebih dari 10% dan memiliki kestabilan pembacaan. Sehingga diperlukan pengujian dan analisa sensornya, modul rangkaian instrumentasi dan karakteristik minyak kelapa (massa jenis) terhadap perubahan temperatur.

Karena alat instrumentasi pada penelitian ini diterapkan pada tangki proses diperusahaan, maka dibuat terlebih dahulu prototype mekanik yang terdiri tabung sebagai pengukuran levelnya dengan tinggi 150 cm dan tempat penataan sensor tekanan dan temperatur seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 (a) Bentuk prototype mekanik pengukuran level
(b) Penataan sensor tekanan dan PT100

Rangkaian elektronika yang dipakai pada penelitian ini dikemas jadi satu box panel (Gambar 4.2) yang dilengkapi dengan tampilan seven segment untuk level (dalam satuan cm) dan temperatur.



(a)

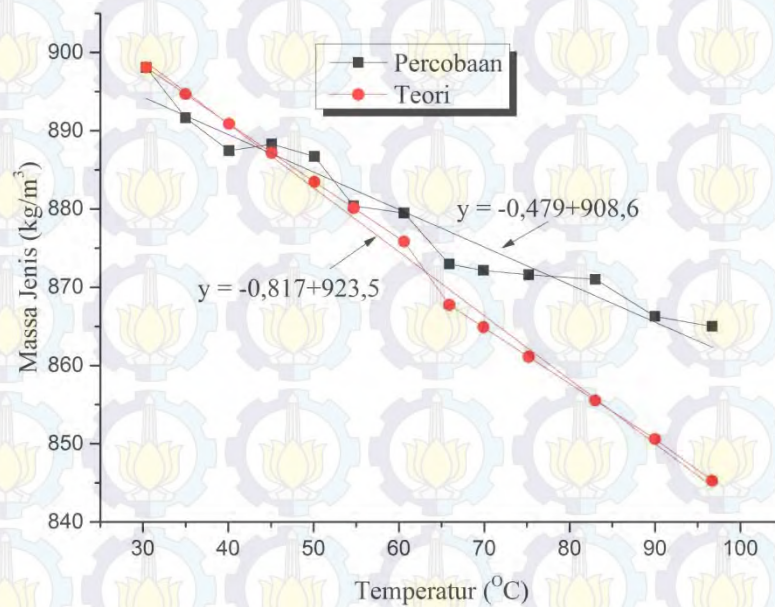
(b)

Gambar 4.2 (a) Panel elektronik dan display seven segment

(b) Rangkaian elektronik dalam panel

4.1.2 Nilai Massa Jenis Minyak Kelapa terhadap Temperatur

Pengukuran massa jenis minyak kelapa dilakukan dengan mengambil sample minyak dari perusahaan. Proses pengukuran massa jenisnya dilakukan di laboratorium zat padat FMIPA fisika ITS. Cara pengukuran yang dilakukan adalah dengan menaikkan temperatur minyak sampai diatas 100°C , kemudian pada temperatur 96°C , minyak ditimbang dalam suatu wadah dengan volum 25ml. Setelah itu dilakukan pengukuran berulang sampai temperatur minyak turun menjadi 30°C (Tabel 1 pada Lampiran 1).



Gambar 4.3 Grafik hubungan massa jenis minyak kelapa terhadap temperatur

Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan nilai massa jenis minyak kelapa setengah jadi (warna hitam) dari percobaan dengan nilai massa jenis minyak kelapa dari hasil perhitungan dari persamaan $2.8(\gamma=8,36 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, $\rho_0=898,08 \text{ kg/m}^3$) dengan temperatur awal $T_0=30^{\circ}\text{C}$ dan $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$.

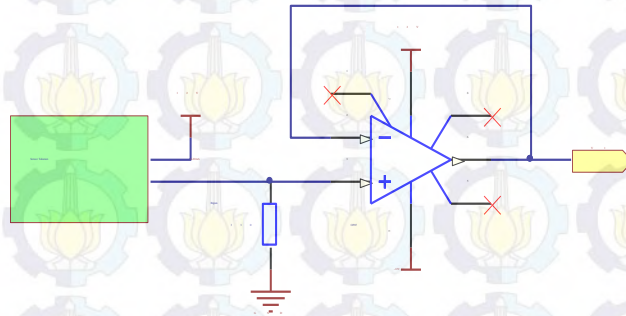
Seperti pada Tabel 1 Lampiran 1, nilai massa jenis minyak kelapa setengah jadi memiliki selisih yang kecil bila dibandingkan pada tabel 2.2 dari pada secara perhitungan. Sehingga pada penelitian ini, persamaan kurva fitting dari hasil percobaan yang akan digunakan dalam menentukan nilai massa jenis minyak kelapa setengah jadi terhadap perubahan temperatur.

4.1.3 Pengujian Arus dan Tegangan Keluaran Sensor Tekanan

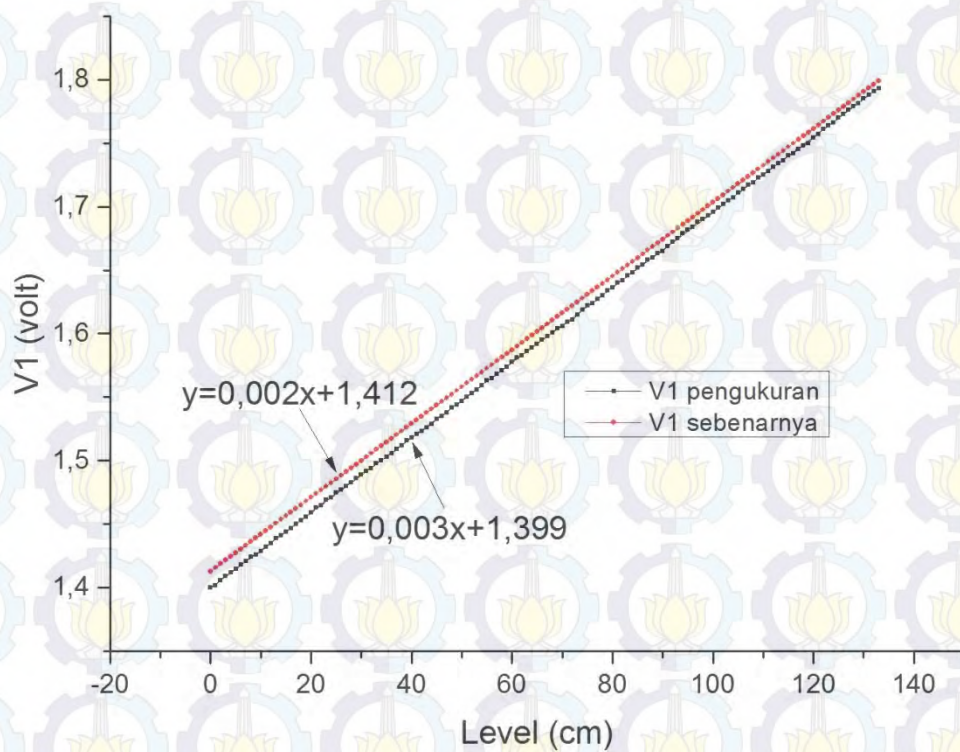
Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui sensitifitas tegangan atau arus keluarannya dengan level per cm. Pengujian dilakukan pada minyak kelapa dengan temperatur $28,3^{\circ}\text{C}$, sehingga nilai massa jenisnya dapat dicari menggunakan persamaan kurva fitting dari Gambar 4.3 yaitu,

$$\begin{aligned}\rho &= -0,479T + 908,6 \\ \rho &= -0,479(28,3) + 908,6 \\ &= 895,04 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

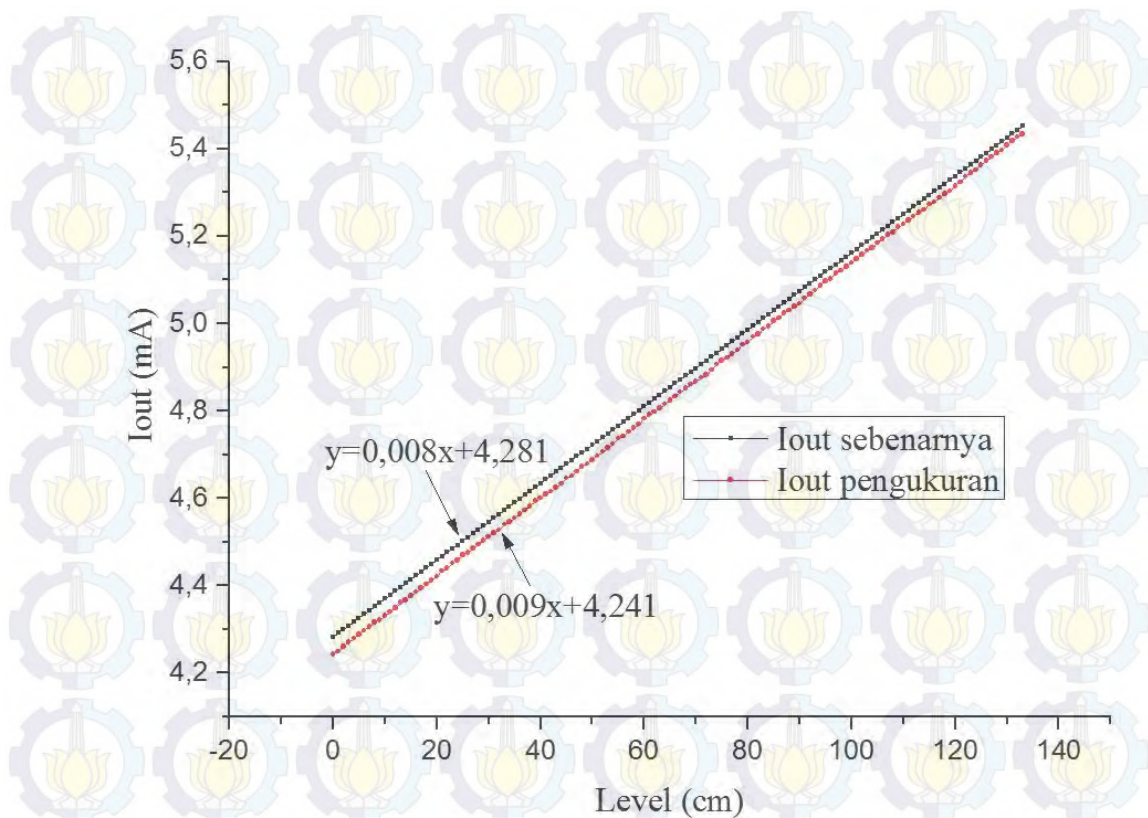
Gambar rangkaian pengujian yang dilakukan adalah dengan mengukur besar tegangan V_I seperti pada Gambar 4.4 kemudian nilai tegangan V_I digunakan untuk mencari nilai arus keluaran sensor (I_{OUT}) dan tekanannya (P). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 Lampiran 1.



Gambar 4.4 Rangkaian pengukuran sensitifitas sensor tekanan



Gambar 4.5 Sensistifitas tegangan keluaran sensor takanan



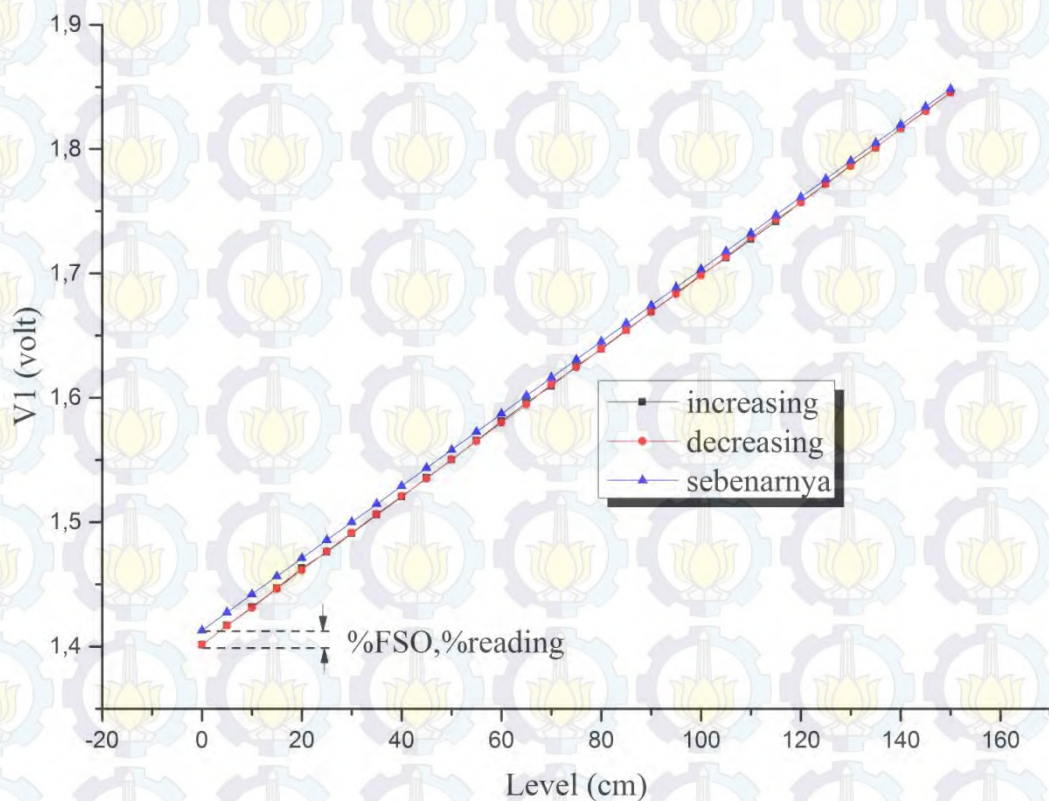
Gambar 4.6 Sensitifitas arus keluaran sensor tekanan

Pengujian pengukuran tegangan keluaran sensor tekanan dilakukan dari level 133 cm sampai 0 cm secara pengukuran menurun (*decreasing*). Selisih rata-rata pengukuran tegangan (V_I) yang didapat setiap cm jika melihat gradient pada Gambar 4.5 adalah 0,003 V (3mV) per cm. Sedangkan pengukuran arus keluarannya (I_{OUT}) didapat dengan melakukan perhitungan yaitu $I_{OUT} = V_I / R$, arus rata-rata untuk level setiap cm-nya adalah 0,009 mA (9 uA). Jika nilai arus ini dibandingkan dengan perhitungan (arus sebenarnya) seperti pada bab 2 yaitu 8,8 uA/cm (dengan tekanan $P = 88,023 \cdot 10^{-5}$ bar/cm), maka terdapat kesalahan rata-rata 0,2 uA/cm. Nilai kesalahan semakin besar terjadi saat pengukuran level semakin rendah.

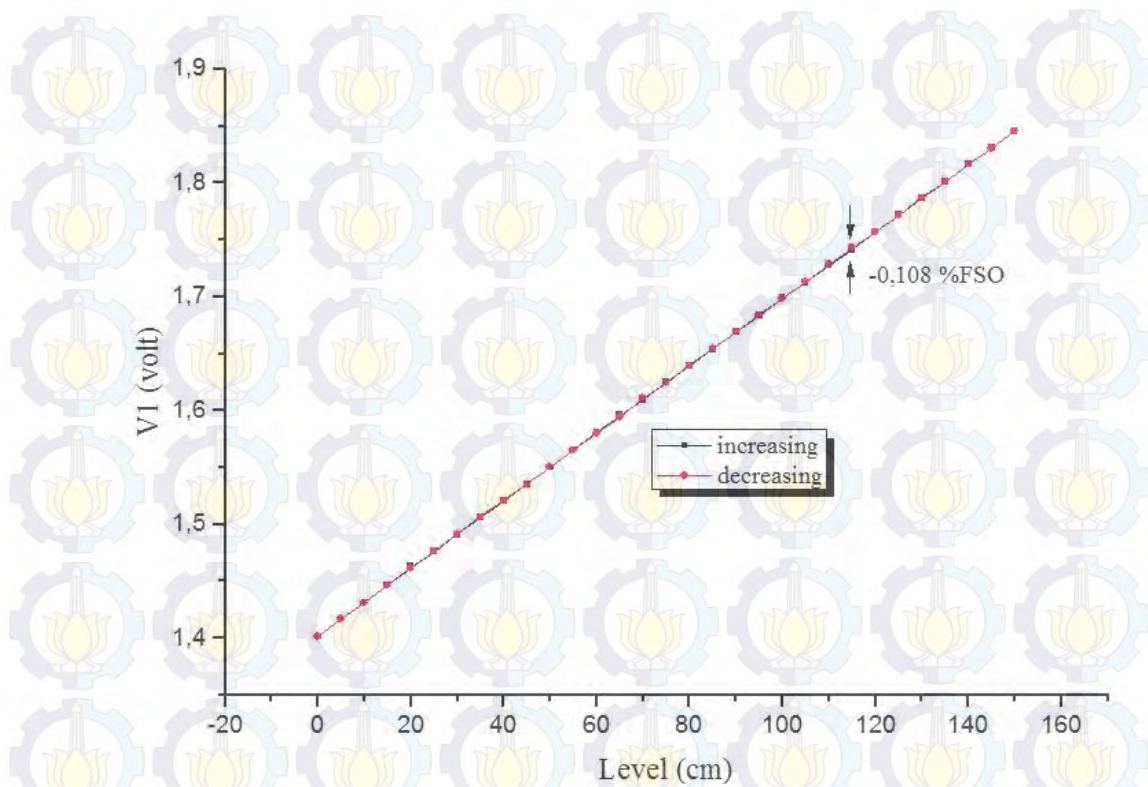
4.1.4 Pengujian Karakteristik Statik Sensor Tekanan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor tekanan yang dipakai seperti akurasi, *hysteresis*, *linieritas* dan *repeatability*-nya. Dalam pengujian ini, pengukuran levelnya dari 0 cm sampai 150 cm dengan step setiap 5 cm pada temperatur ruang ($26 - 30^{\circ}\text{C}$) dengan rangkaian seperti pada Gambar 4.4.

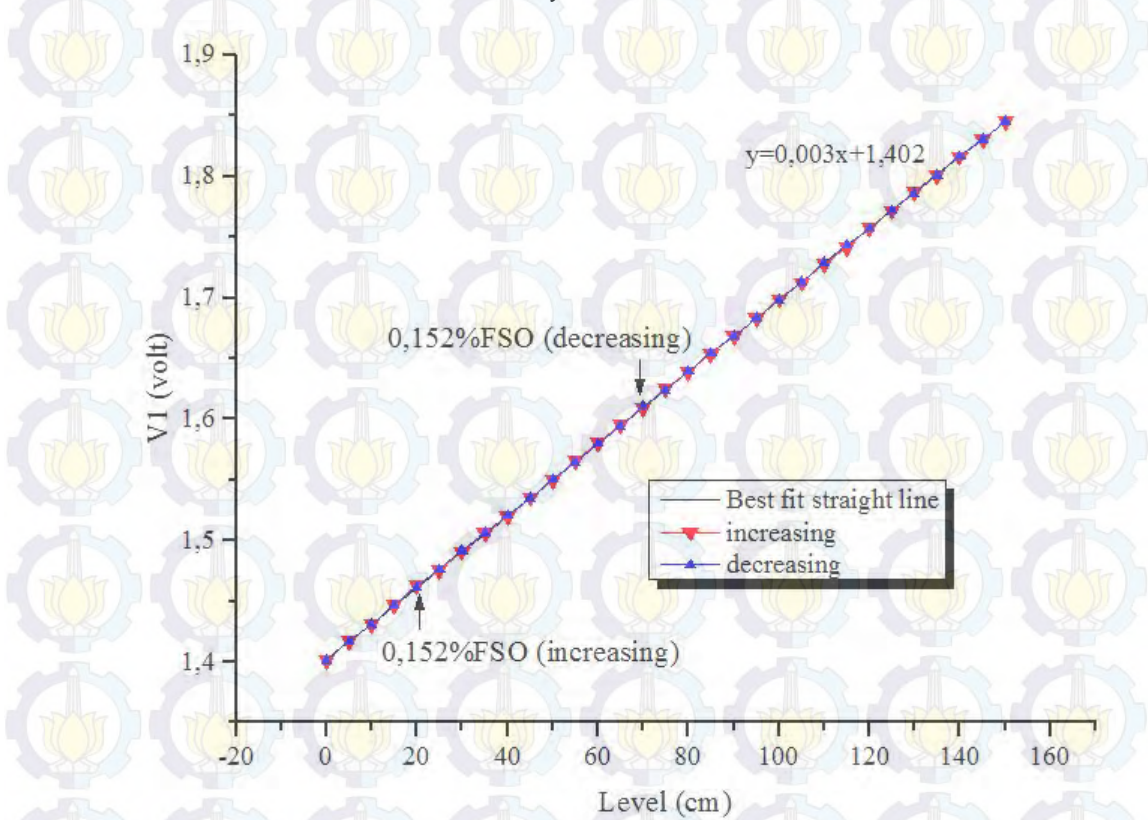
Seperti yang terlihat pada Tabel 3 Lampiran 2 dan Gambar 4.7, didapat akurasi sensor dengan $\%FSO = 0,62\%$ yaitu pada level 0 cm saat pengukuran *increasing* atau *decreasing* memiliki nilai sama dan didapat $\%reading = 0,81\%$ terjadi pada level 0 cm yang memiliki nilai yang sama saat pengukuran *increasing* dan *decreasing*. Sedangkan hasil pengujian *hysteresis*-nya dapat dilihat pada Tabel 4 Lampiran 2 dan Gambar 4.8. Perbedaan terbesar $\%FSO$ (*hysteresis*) antara pengukuran *increasing* dan *decreasing* terjadi pada level 115 cm yaitu -0,108%FSO.



Gambar 4.7 Akurasi sensor tekanan



Gambar 4.8 *Hysteresis* sensor tekanan



Gambar 4.9 *Linieritas* sensor tekanan

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.9, analisa pengujian *linieritas* menggunakan metode *Best-fit straight line* yang menggunakan persamaan 4.1 seperti dibawah ini.

$$y = mx + b \quad \text{.....} \quad (4.1)$$

$$m = \frac{n\sum(xy) - \sum x \sum y}{n\sum(x^2) - (\sum x)^2} \quad \text{.....} \quad (4.2)$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - m \frac{\sum x}{n} \quad \text{.....} \quad (4.3)$$

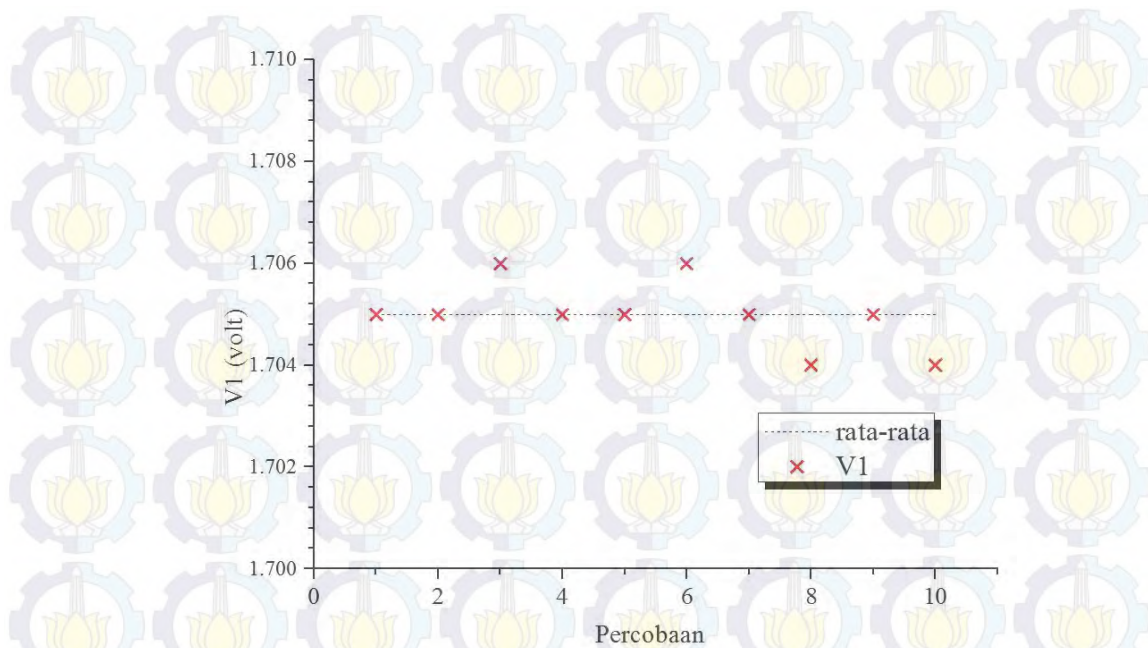
Dimana: y : Keluaran sensor dalam hal ini adalah V_I (V)
 x : masukan sensor dalam hal ini adalah level h (cm)
 m : gradient atau kemiringan dari *straight line*
 b : konstanta atau intercept dari y
 n : jumlah data pengukuran

Jumlah pengujian (n)linieritas sebanyak 62 pengukuran, sesuai dengan persamaan 4.2 dan 4.3 didapat nilai $m=0,003$ dan $b=1,402$, sehingga persamaan *straight line*-nya adalah

$$y = \left(0,003 \frac{\text{volt}}{\text{cm}} xh \right) + 1,402V \quad \text{.....} \quad (4.4)$$

Pada Tabel 5 Lampiran 2, nilai linieritas sensor tekanan 0,152%FSO terjadi pada level 20 cm untuk pengukuran *increasing* dan 0,152%FSO terjadi pada level 70 cm untuk pengukuran *decreasing*.

Gambar 4.10 merupakan hasil pengujian pengulangan (*repeatability*) dengan jumlah pengukuran 10 kali pada level yang sama yaitu 100 cm (Tabel 6 Lampiran 2). Terdapat 2 pengukuran yang bernilai maksimum, 2 bernilai minimum dan 6 pengukuran bernilai sama dengan nilai rata-rata. Sehingga sensor memiliki karakteristik akurasi dan *repeatability* yang baik.



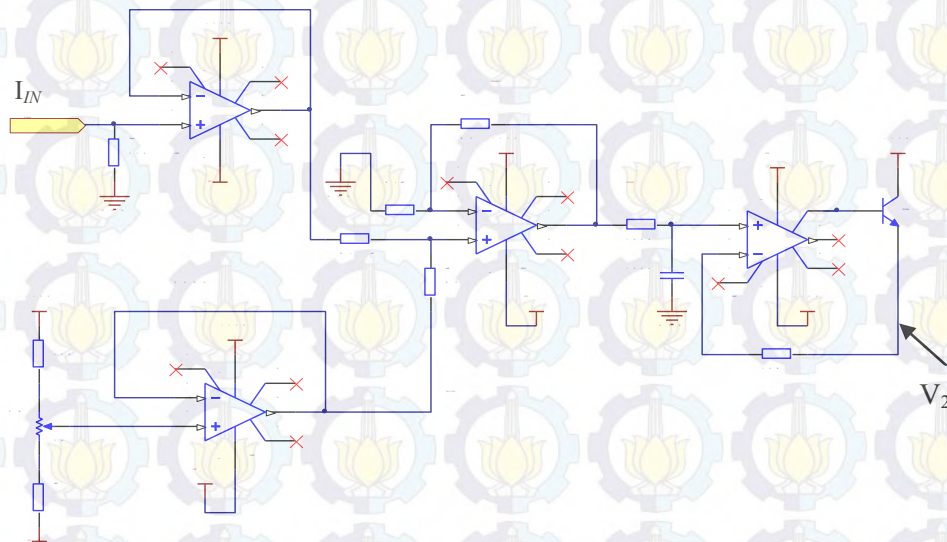
Gambar 4.10 *Repeatability* sensor tekanan

4.1.5 Kalibrasi Sensor Tekanan ke Besaran Level

Kalibrasi sensor tekanan dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dibahas pada bab 2. Tahap-tahap kalibrasi sensor tekanan ke besaran level diproses didalam algoritma program pada mikrokontrolernya, yaitu:

1. Tegangan keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyalnya yang dibaca oleh *ADC* (dalam bentuk data desimal) dikonversi ke besaran tegangan.
2. Mengkonversi besaran tegangan V_2 seperti pada Gambar 4.11 ke dalam besaran arus (I_{IN}) dengan menggunakan persamaan 3.1, yaitu dengan memasukkan konstanta seperti $R_{span} = 330 \Omega$, gain (R_F/R_i) = 1,446 dan $V_{ZERO} = -1,756$ (menyesuaikan dengan rangkaian yang telah dibuat).
3. Mencari tekanan (bar) dengan menggunakan persamaan dari hasil kurva fitting seperti pada gambar 3.8, yaitu tekanan $P = (10 \cdot I_{IN}) + 4$.
4. Besaran level didapat dengan menggunakan persamaan 2.9, dengan mensubstitusi nilai massa jenis ρ dengan persamaan polinomial hasil kurva fitting pada gambar 4.3 yang merupakan fungsi temperatur (T), sehingga persamaan kalibrasi dari tekanan (P) ke level (h) adalah

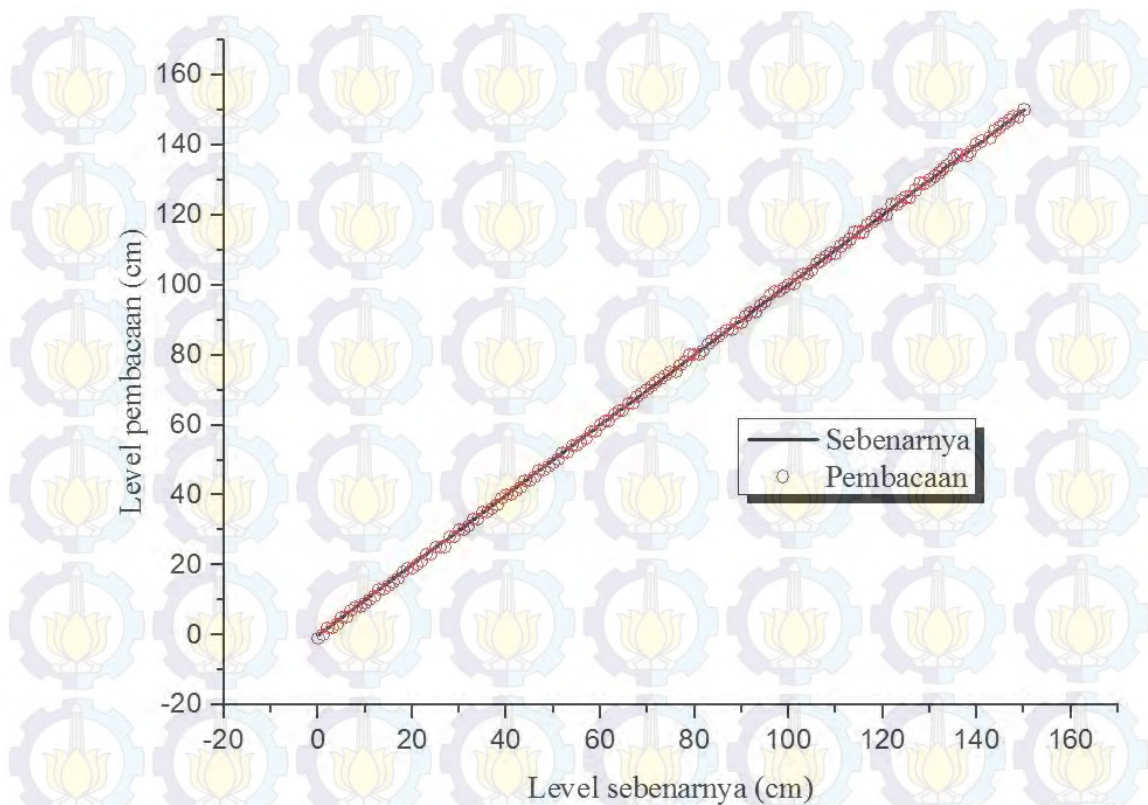
$$h = \frac{P}{(-0,479T + 908,6) \times 9,8} + h_{offset} \dots (4.5)$$



Gambar 4.11 Pengukuran rangkaian pengkondisi sinyal

Pada persamaan 4.4, h_{offset} merupakan nilai konstanta yang tergantung dari jarak peletakan sensor tekanan terhadap nilai level 0 cm pada tangki yang akan diukur levelnya. Pada penelitian ini, h_{offset} digunakan untuk sistem kalibrasi yaitu dengan menyesuaikan level sebenarnya dengan level pembacaan alat. Proses kalibrasi (h_{offset}) pada alat ini menggunakan tombol *push button* yang bertujuan untuk mempermudah menyamakan levelnya saat tangki sudah terisi minyak.

Grafik pada Gambar 4.12 merupakan hasil konversi alat dari besaran tekanan ke besaran level yang sudah terkalibrasi dengan nilai h_{offset} -nya adalah 45.

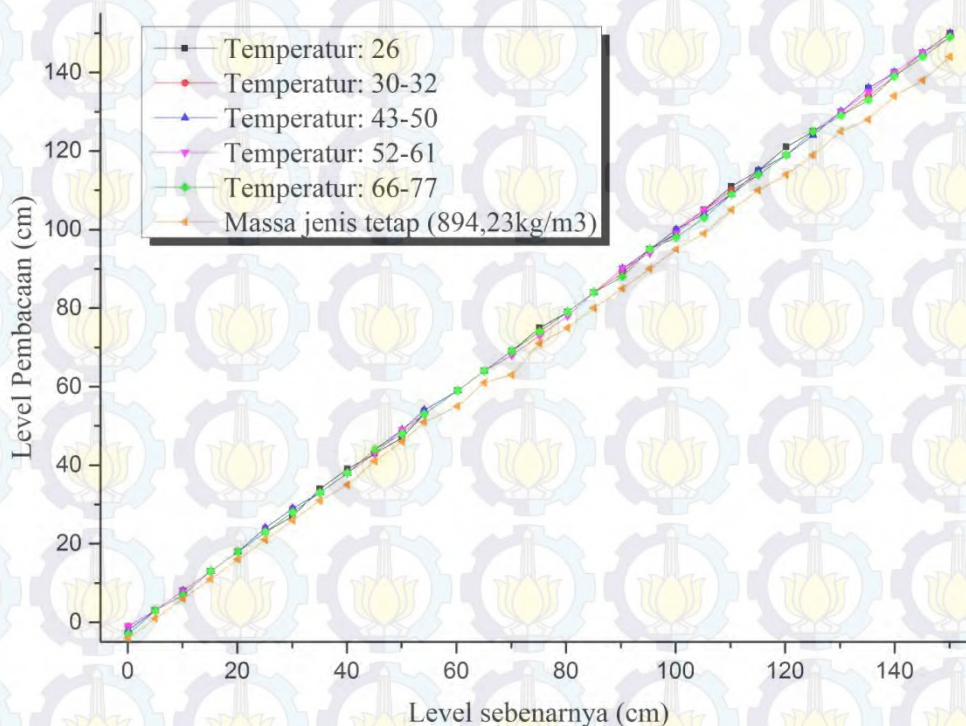


Gambar 4.12 Grafik hasil pengukuran level

Persentase kesalahan semakin besar (diatas 2%) sering terjadi pada level dibawah 60 cm. Sedangkan untuk persentase yang diatas 10% dan ini yang merupakan batas maksimal toleransi perusahaan terjadi pada level 10, 9, 6, 4 dan 3cm dengan nilai masing-masing kesalahan dapat dilihat pada tabel 7 Lampiran 3.

4.1.6 Pengujian Level dengan Menaikkan Temperatur Minyak

Temperatur minyak kelapa didalam tangki proses yang memiliki temperatur tinggi merupakan permasalahan didalam penelitian ini. Pada pengujian ini dilakukan lima pengukurandengan temperatur 26°C, 30 – 32°C, 43 – 50°C, 52– 61°C, 66–67°C dan satu pengukuran dengan nilai massa jenis tetap (894,23kg/m³). Pada kelima pengukuran dengan temperatur yang berbeda-beda, nilai massa jenis minyak menggunakan persamaan dari kurva fitting pada gambar 4.3 seperti pada persamaan 4.4. Berikut adalah grafik hasil pengukurannya yang terlihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Perbandingan pengukuran level saat temperatur dinaikkan dengan massa jenis yang dipengaruhi dan tidak dipengaruhi temperatur

Perbandingan keenam pengukuran seperti yang terlihat pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kesalahan pembacaan level menjadi besar jika temperatur minyak berubah menjadi tinggi dengan nilai massa jenis tetap. Kesalahan untuk massa jenis yang berubah terhadap temperatur diatas 2% saat pada level dibawah 60 cm kecuali pada level dibawah 20 cm sampai diatas 10%. Sedangkan kesalahan pengukuran dengan massa jenis tetap pada semua level bernilai diatas 4% (Tabel 8 Lampiran 4). Dengan pemodelan ukuran prototype pada penelitian ini, selisih level pembacaan antara lima pengukuran dengan massa jenis bernilai tetap adalah 4 – 6cm.

4.1.7 Kalibrasi Alat di lapangan

Sebelum alat diterapkan pada tangki proses minyak kelapa, terlebih dahulu alat dikalibrasi yang sudah tersedia di perusahaan. Kalibrasian ini dilakukan agar lebih mudah melihat perbandingan level sebenarnya dengan pembacaan ketika berada pada lapangan. Kalibrasi alat dilapangan hanya bisa

dilakukan hanya sampai 3 meter, dikarenakan ada kerusakan saluran pipa pada alat kalibrasinya. Bentuk alat kalibrasinya adalah pipa besi dengan panjang 12 m seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.

Pipa kalibrasi
Tempat
penempatan sensor



Gambar 4.14 Alat kalibrasi dilapangan

Sensor tekanan

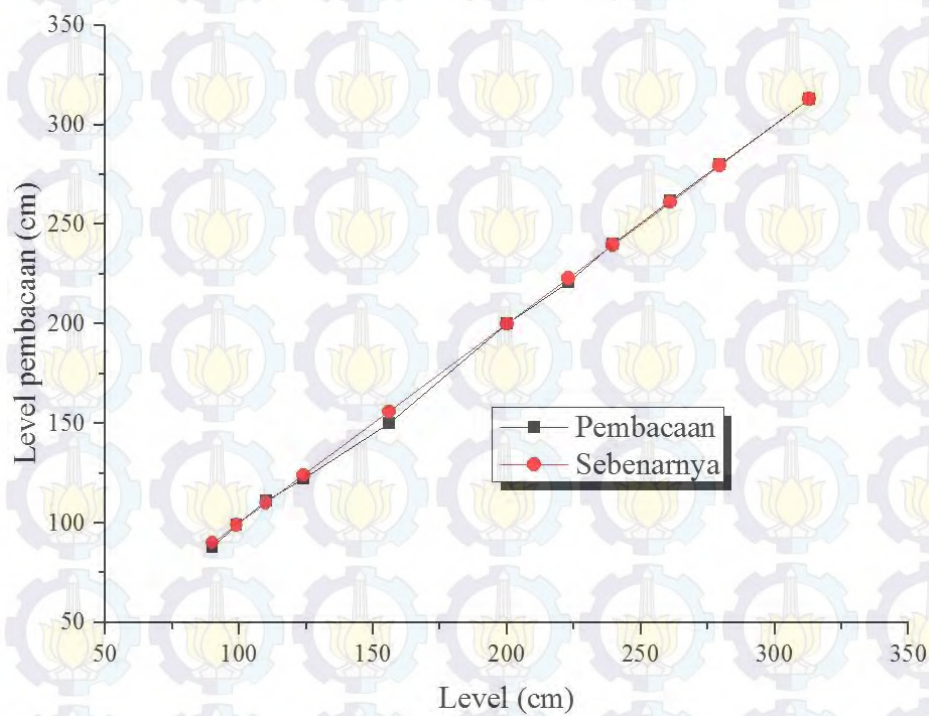


PT100

Gambar 4.15 Penempatan sensor saat kalibrasi



Gambar 4.16 Panel elektronik dan sensor saat kalibrasi



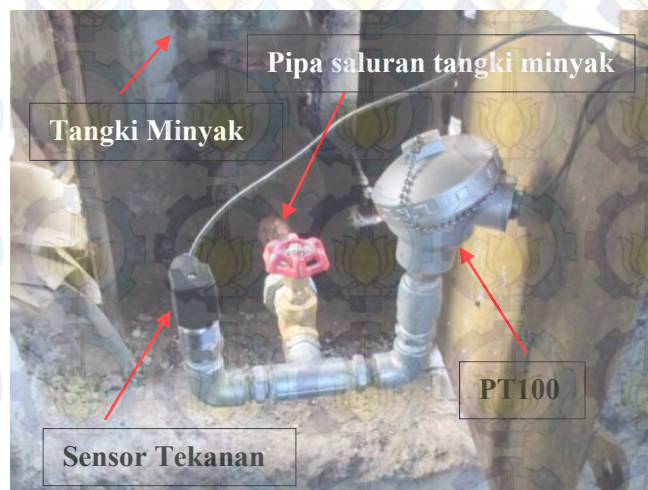
Gambar 4.17 Grafik hasil kalibrasi dilapangan

4.1.8 Pengukuran Level di Perusahaan

Pengukuran level ini langsung menerapkan alat ke tangki proses dari minyak kelapa diperusahaan yang menjadi tujuan dari penelitian ini. Pada penelitian ini, lama pengambilan data dilakukan selama enam hari. Peletakan sensor pada pipa saluran tangki proses minyak dan panel elektronik seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 dan 4.19.



Gambar 4.18 Peletakan sensor tekanan, PT100 dan panel elektronik



Gambar 4.19 Peletakan sensor tekanan, PT100 pada pipa saluran tangki minyak

Hasil pengujian pengukuran level yang didapat, level maksimal yang diukur hanya sampai ± 3 m dengan temperatur maksimal $37,8^{\circ}\text{C}$. Nilai kesalahan yang paling besar yaitu 7,69 % pada level terendah selama proses pengambilan data yaitu 13 cm (Tabel 10 Lampiran 5).

4.2 Pembahasan

Dari proses pengujian massa jenis minyak kelapa terhadap perubahan temperatur, telah didapat bahwa nilai massa jenis akan semakin mengecil bila temperatur naik. Secara fisis disebabkan karena adanya perubahan koefisien volumetrik atau pemuaian volume dari zat cair tersebut yaitu minyak kelapa seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.

Perubahan linier antara hubungan berat minyak kelapa (level) yang dibaca oleh sensor tekanan dan proses kalibrasi alat pada penelitian ini sudah sesuai dengan persamaan Bernoulli. Faktor kesalahan yang semakin besar dalam analisa karakteristik statik sensor tekanan terjadi pada level yang semakin rendah disebabkan karena tingkat sensitif sensor pada level yang rendah berkurang. Selain itu, kecepatan respon respon pembacaan alat terhadap perubahan level sebenarnya maksimal $1490 \text{ cm}^3/\text{detik}$.

Pengujian pengukuran level dengan menaikkan temperatur minyak kelapa dan nilai temperatur tersebut digunakan untuk menentukan nilai massa jenis minyaknya memiliki hubungan linier dengan tekanan atau level yang terbaca oleh sensor tekanan. Jika temperatur minyak semakin tinggi maka minyak tersebut mengalami pemuaian volum dengan nilai pemuaian tergantung dari koefisien volumetrik dan volum tempat minyaknya (pipa transparan dengan diameter 2,5 cm) seperti pada persamaan 2.1, sehingga level minyak akan mengalami kenaikan. Kenaikan level minyak ini dapat diseimbangkan dengan nilai massa jenisnya yang semakin mengecil (persamaan kurva fitting pada gambar 4.3). Karena massa jenis memiliki hubungan terbalik dengan level (persamaan 4.5) sehingga level yang terbaca menjadi tinggi (mendekati dengan dengan level sebenarnya).

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Minyak kelapa setengah jadi memiliki hubungan linier terhadap temperatur yaitu semakin tinggi temperatur maka semakin kecil nilai massa jenisnya.
2. Proses kalibrasi alat dari besaran tekanan ke besaran level yang menggunakan hukum fluida (persamaan bernouli) sudah sesuai ketika alat diaplikasikan ke pemodelan mekanik yang dibuat dan di tangki perusahaan.
3. Sensor tekanan yang digunakan memiliki karakteristik statik yang baik, Dengan pengukuran level memiliki kesalahan tidak lebih dari 10 % dan memiliki kesalahan yang kecil saat level berada pada level 60 cm ke atas, dibandingkan dengan 60 cm ke bawah. Dan alat yang dibuat memiliki hasil atau karakteristik yang sama ketika diaplikasikan pada pemodelan prototype mekanik dengan tangki minyak kelapa diperusahaan.



DAFTAR PUSTAKA

Analog Devices (2002) "Ultralow Offset Voltage Operational Amplifiers" OP07.

Atmel (2007) "8-Bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash" ATmega16, ATmega16L.

Baoquan Jina, Zeyu Zhang, Hongjuan Zhang (2015), "Structure Design and Performance Analysis of a Coaxial Cylindrical Capacitive Sensor for Liquid-Level Measurement".

Bernat Esteban, Jordi Roger Riba, Grau Baquero, Antoni Rius, Rita Puig (2012) "Temperatur Dependence Of Density And Viscosity Of Vegetable Oils". Vol.62, hal 169-171.

Da Silva, T.A.R, Santos, D.Q, De Lima, A.P, Neto, W.B (2013), "Volumetric Property for tankage of Biodiesel from Residual Oil". Vol 5, hal 806-816.

J.Michael Jacob (1989) "Industrial Control Electronics Applications and Design" London, Prentice-Hall International.

Jumo "Midas Pressure Transmitter type 401001/000-455-405-523-20-601-61/591".

Ketaren, S. (1986) "Pengantar Minyak dan Lemak Pangan", UI Press, Jakarta.

Pantur Silaban Ph.D, Drs. Erwin Sucipto M.Sc (1985), "Fisika jilid 1 edisi ketiga", Erlangga, Jakarta, hal 562.

Richard H.Barnet, sarah Cox and Larry O'Cull (2007) "Embedded C Programming And the Atmel AVR 2th", Kanada, Thomson Delmar Learning.

Sarath TM, Subha Hency Jose P, Daniel Furtado (2013). "Level Measurement Using MEMS Sensors", Vol 3, hal 118-121.

Tippler (1998), "Prinsip Dasar Fisika untuk Sains dan teknik", Erlangga, Jakarta.

V.E.Sakharov, S.A.Kuznetsov, B.D.Zaitsev b, I.E.Kuznetsova, S.G.Joshi (2002) "Liquid level sensor using ultrasonic Lambwaves". Vol. 41, hal 319-322.

Van Vlack (1995) "Ilmu dan Teknologi Bahan", Erlangga, Jakarta, hal. 151-160.

Weihua Zhang, Zesheng Ying, ShuoYuan (2014) “A fiber Laser Sensor for liquid level and temperature based on two taper structures and fiber Bragg grating”. Vol.342 hal 243-246.

William C.Dunn (2005) “Fundamental of Industrial Instrumentation and Process Control” USA, McGraw-Hill.

Ziehl industrie-elektronik(2014) ”PT100-Temperature–Sensor type TF”, TF101ZG2

Lampiran 1. Data Hasil Pengujian Minyak Kelapa dan Sensitifitas Sensor Tekanan.

Tabel 1. Nilai massa jenis minyak kelapa terhadap fungsi temperatur

Temperatur (°C)	Massa jenis (kg/m ³)		
	Berat (gr)	Percobaan	Teori
96,7	21,625	865	845,26
90	21,657	866,28	850,59
83	21,775	871	855,53
75,2	21,79	871,6	861,1
69,9	21,804	872,16	864,89
65,9	21,824	872,96	867,75
60,6	21,987	879,48	875,83
54,7	22,01	880,4	880,13
50,1	22,168	886,72	883,47
45,1	22,207	888,28	887,17
40,1	22,186	887,44	890,88
35	22,291	891,64	894,68
30,4	22,452	898,08	898,08

Tabel 2. Sensitifitas tegangan keluaran sensor tekanan

Level (cm)	Pengukuran	Perhitungan dari pengukuran		Nilai sebenarnya			Error		
	V _I (V)	I _{OUT} (mA)	P (bar)	V _I (V)	I _{OUT} (mA)	P(bar)	V _I (mV)	I _{OUT} (mA)	P(bar)
133	1,793	5,4333	0,1433	1,799	5,452	0,1452	6,2	0,0187	0,0019
132	1,791	5,4273	0,1427	1,796	5,4432	0,1444	5,3	0,0159	0,0016
131	1,788	5,4182	0,1418	1,793	5,4344	0,1435	5,4	0,0162	0,0017
130	1,785	5,4091	0,1409	1,790	5,4256	0,1426	5,4	0,0165	0,0017
129	1,781	5,3970	0,1397	1,788	5,4168	0,1417	6,5	0,0198	0,0020
128	1,779	5,3909	0,1391	1,785	5,408	0,1408	5,6	0,0171	0,0017
127	1,776	5,3818	0,1382	1,782	5,3992	0,1400	5,7	0,0174	0,0018
126	1,773	5,3727	0,1373	1,779	5,3904	0,1391	5,8	0,0177	0,0018
125	1,77	5,3636	0,1364	1,776	5,3816	0,1382	5,9	0,0180	0,0018
124	1,766	5,3515	0,1352	1,773	5,3728	0,1373	7,0	0,0213	0,0022
123	1,764	5,3455	0,1345	1,770	5,364	0,1364	6,1	0,0185	0,0019
122	1,761	5,3364	0,1336	1,767	5,3552	0,1356	6,2	0,0188	0,0019
121	1,757	5,3242	0,1324	1,764	5,3464	0,1347	7,3	0,0222	0,0023
120	1,754	5,3152	0,1315	1,761	5,3376	0,1338	7,4	0,0224	0,0023
119	1,75	5,3030	0,1303	1,759	5,3288	0,1329	8,5	0,0258	0,0026
118	1,748	5,2970	0,1297	1,756	5,32	0,1320	7,6	0,0230	0,0023

Level (cm)	Pengukuran	Perhitungan dari pengukuran		Nilai sebenarnya			Error		
	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P(bar)	V_I (mV)	I_{OUT} (mA)	P(bar)
117	1,745	5,2879	0,1288	1,753	5,3112	0,1312	7,7	0,0233	0,0024
116	1,742	5,2788	0,1279	1,750	5,3024	0,1303	7,8	0,0236	0,0024
115	1,74	5,2727	0,1273	1,747	5,2936	0,1294	6,9	0,0209	0,0021
114	1,736	5,2606	0,1261	1,744	5,2848	0,1285	8,0	0,0242	0,0025
113	1,734	5,2545	0,1255	1,741	5,276	0,1276	7,1	0,0215	0,0022
112	1,731	5,2455	0,1245	1,738	5,2672	0,1268	7,2	0,0217	0,0022
111	1,728	5,2364	0,1236	1,735	5,2584	0,1259	7,3	0,0220	0,0022
110	1,725	5,2273	0,1227	1,732	5,2496	0,1250	7,4	0,0223	0,0023
109	1,723	5,2212	0,1221	1,729	5,2408	0,1241	6,5	0,0196	0,0020
108	1,719	5,2091	0,1209	1,727	5,232	0,1232	7,6	0,0229	0,0023
107	1,717	5,2030	0,1203	1,724	5,2232	0,1224	6,7	0,0202	0,0020
106	1,714	5,1939	0,1194	1,721	5,2144	0,1215	6,8	0,0205	0,0021
105	1,711	5,1848	0,1185	1,718	5,2056	0,1206	6,8	0,0208	0,0021
104	1,707	5,1727	0,1173	1,715	5,1968	0,1197	7,9	0,0241	0,0024
103	1,705	5,1667	0,1167	1,712	5,188	0,1188	7,0	0,0213	0,0022
102	1,702	5,1576	0,1158	1,709	5,1792	0,1180	7,1	0,0216	0,0022
101	1,699	5,1485	0,1148	1,706	5,1704	0,1171	7,2	0,0219	0,0022
100	1,696	5,1394	0,1139	1,703	5,1616	0,1162	7,3	0,0222	0,0023
99	1,693	5,1303	0,1130	1,700	5,1528	0,1153	7,4	0,0225	0,0023
98	1,69	5,1212	0,1121	1,698	5,144	0,1144	7,5	0,0228	0,0023
97	1,688	5,1152	0,1115	1,695	5,1352	0,1135	6,6	0,0200	0,0020
96	1,684	5,1030	0,1103	1,692	5,1264	0,1127	7,7	0,0234	0,0024
95	1,682	5,0970	0,1097	1,689	5,1176	0,1118	6,8	0,0206	0,0021
94	1,679	5,0879	0,1088	1,686	5,1088	0,1109	6,9	0,0209	0,0021
93	1,675	5,0758	0,1076	1,683	5,1	0,1100	8,0	0,0242	0,0025
92	1,672	5,0667	0,1067	1,680	5,0912	0,1091	8,1	0,0245	0,0025
91	1,669	5,0576	0,1058	1,677	5,0824	0,1083	8,2	0,0248	0,0025
90	1,665	5,0455	0,1045	1,674	5,0736	0,1074	9,3	0,0281	0,0028
89	1,663	5,0394	0,1039	1,671	5,0648	0,1065	8,4	0,0254	0,0026
88	1,66	5,0303	0,1030	1,668	5,056	0,1056	8,5	0,0257	0,0026
87	1,658	5,0242	0,1024	1,666	5,0472	0,1047	7,6	0,0230	0,0023
86	1,654	5,0121	0,1012	1,663	5,0384	0,1039	8,7	0,0263	0,0027
85	1,652	5,0061	0,1006	1,660	5,0296	0,1030	7,8	0,0235	0,0024
84	1,648	4,9939	0,0994	1,657	5,0208	0,1021	8,9	0,0269	0,0027
83	1,646	4,9879	0,0988	1,654	5,012	0,1012	8,0	0,0241	0,0024
82	1,642	4,9758	0,0976	1,651	5,0032	0,1003	9,1	0,0274	0,0028
81	1,64	4,9697	0,0970	1,648	4,9944	0,0995	8,2	0,0247	0,0025

Level (cm)	Pengukuran	Perhitungan dari pengukuran		Nilai sebenarnya			Error		
	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)
80	1,636	4,9576	0,0958	1,645	4,9856	0,0986	9,2	0,0280	0,0028
79	1,634	4,9515	0,0952	1,642	4,9768	0,0977	8,3	0,0253	0,0026
78	1,63	4,9394	0,0939	1,639	4,968	0,0968	9,4	0,0286	0,0029
77	1,627	4,9303	0,0930	1,637	4,9592	0,0959	9,5	0,0289	0,0029
76	1,624	4,9212	0,0921	1,634	4,9504	0,0951	9,6	0,0292	0,0029
75	1,622	4,9152	0,0915	1,631	4,9416	0,0942	8,7	0,0264	0,0027
74	1,619	4,9061	0,0906	1,628	4,9328	0,0933	8,8	0,0267	0,0027
73	1,615	4,8939	0,0894	1,625	4,924	0,0924	9,9	0,0301	0,0030
72	1,611	4,8818	0,0882	1,622	4,9152	0,0915	11,0	0,0334	0,0034
71	1,609	4,8758	0,0876	1,619	4,9064	0,0907	10,1	0,0306	0,0031
70	1,606	4,8667	0,0867	1,616	4,8976	0,0898	10,2	0,0309	0,0031
69	1,604	4,8606	0,0861	1,613	4,8888	0,0889	9,3	0,0282	0,0028
68	1,601	4,8515	0,0852	1,610	4,88	0,0880	9,4	0,0285	0,0029
67	1,598	4,8424	0,0842	1,607	4,8712	0,0871	9,5	0,0288	0,0029
66	1,595	4,8333	0,0833	1,605	4,8624	0,0863	9,6	0,0291	0,0029
65	1,592	4,8242	0,0824	1,602	4,8536	0,0854	9,7	0,0294	0,0030
64	1,589	4,8152	0,0815	1,599	4,8448	0,0845	9,8	0,0296	0,0030
63	1,586	4,8061	0,0806	1,596	4,836	0,0836	9,9	0,0299	0,0030
62	1,583	4,7970	0,0797	1,593	4,8272	0,0827	10,0	0,0302	0,0030
61	1,581	4,7909	0,0791	1,590	4,8184	0,0819	9,1	0,0275	0,0028
60	1,578	4,7818	0,0782	1,587	4,8096	0,0810	9,2	0,0278	0,0028
59	1,574	4,7697	0,0770	1,584	4,8008	0,0801	10,3	0,0311	0,0031
58	1,571	4,7606	0,0761	1,581	4,792	0,0792	10,4	0,0314	0,0032
57	1,568	4,7515	0,0752	1,578	4,7832	0,0783	10,5	0,0317	0,0032
56	1,565	4,7424	0,0742	1,576	4,7744	0,0775	10,6	0,0320	0,0032
55	1,563	4,7364	0,0736	1,573	4,7656	0,0766	9,6	0,0292	0,0029
54	1,559	4,7242	0,0724	1,570	4,7568	0,0757	10,7	0,0326	0,0033
53	1,556	4,7152	0,0715	1,567	4,748	0,0748	10,8	0,0328	0,0033
52	1,553	4,7061	0,0706	1,564	4,7392	0,0739	10,9	0,0331	0,0033
51	1,55	4,6970	0,0697	1,561	4,7304	0,0731	11,0	0,0334	0,0034
50	1,547	4,6879	0,0688	1,558	4,7216	0,0722	11,1	0,0337	0,0034
49	1,544	4,6788	0,0679	1,555	4,7128	0,0713	11,2	0,0340	0,0034
48	1,542	4,6727	0,0673	1,552	4,704	0,0704	10,3	0,0313	0,0031
47	1,538	4,6606	0,0661	1,549	4,6952	0,0695	11,4	0,0346	0,0035
46	1,535	4,6515	0,0652	1,547	4,6864	0,0687	11,5	0,0349	0,0035
45	1,533	4,6455	0,0645	1,544	4,6776	0,0678	10,6	0,0321	0,0032
44	1,529	4,6333	0,0633	1,541	4,6688	0,0669	11,7	0,0355	0,0036

Level (cm)	Pengukuran	Perhitungan dari pengukuran		Nilai sebenarnya			Error		
	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)
43	1,526	4,6242	0,0624	1,538	4,66	0,0660	11,8	0,0358	0,0036
42	1,523	4,6152	0,0615	1,535	4,6512	0,0651	11,9	0,0360	0,0036
41	1,521	4,6091	0,0609	1,532	4,6424	0,0643	11,0	0,0333	0,0033
40	1,518	4,6000	0,0600	1,529	4,6336	0,0634	11,1	0,0336	0,0034
39	1,516	4,5939	0,0594	1,526	4,6248	0,0625	10,2	0,0309	0,0031
38	1,512	4,5818	0,0582	1,523	4,616	0,0616	11,3	0,0342	0,0034
37	1,509	4,5727	0,0573	1,520	4,6072	0,0607	11,4	0,0345	0,0035
36	1,506	4,5636	0,0564	1,517	4,5984	0,0599	11,5	0,0348	0,0035
35	1,503	4,5545	0,0555	1,515	4,5896	0,0590	11,6	0,0351	0,0035
34	1,5	4,5455	0,0545	1,512	4,5808	0,0581	11,7	0,0353	0,0035
33	1,498	4,5394	0,0539	1,509	4,572	0,0572	10,8	0,0326	0,0033
32	1,494	4,5273	0,0527	1,506	4,5632	0,0563	11,9	0,0359	0,0036
31	1,492	4,5212	0,0521	1,503	4,5544	0,0555	11,0	0,0332	0,0033
30	1,489	4,5121	0,0512	1,500	4,5456	0,0546	11,0	0,0335	0,0034
29	1,486	4,5030	0,0503	1,497	4,5368	0,0537	11,1	0,0338	0,0034
28	1,483	4,4939	0,0494	1,494	4,528	0,0528	11,2	0,0341	0,0034
27	1,48	4,4848	0,0485	1,491	4,5192	0,0519	11,3	0,0344	0,0034
26	1,477	4,4758	0,0476	1,488	4,5104	0,0511	11,4	0,0346	0,0035
25	1,475	4,4697	0,0470	1,486	4,5016	0,0502	10,5	0,0319	0,0032
24	1,471	4,4576	0,0458	1,483	4,4928	0,0493	11,6	0,0352	0,0035
23	1,469	4,4515	0,0452	1,480	4,484	0,0484	10,7	0,0325	0,0033
22	1,465	4,4394	0,0439	1,477	4,4752	0,0475	11,8	0,0358	0,0036
21	1,463	4,4333	0,0433	1,474	4,4664	0,0467	10,9	0,0331	0,0033
20	1,459	4,4212	0,0421	1,471	4,4576	0,0458	12,0	0,0364	0,0037
19	1,456	4,4121	0,0412	1,468	4,4488	0,0449	12,1	0,0367	0,0037
18	1,453	4,4030	0,0403	1,465	4,44	0,0440	12,2	0,0370	0,0037
17	1,45	4,3939	0,0394	1,462	4,4312	0,0431	12,3	0,0373	0,0037
16	1,447	4,3848	0,0385	1,459	4,4224	0,0423	12,4	0,0376	0,0038
15	1,444	4,3758	0,0376	1,456	4,4136	0,0414	12,5	0,0378	0,0038
14	1,441	4,3667	0,0367	1,454	4,4048	0,0405	12,6	0,0381	0,0038
13	1,439	4,3606	0,0361	1,451	4,396	0,0396	11,7	0,0354	0,0035
12	1,435	4,3485	0,0348	1,448	4,3872	0,0387	12,8	0,0387	0,0039
11	1,432	4,3394	0,0339	1,445	4,3784	0,0378	12,9	0,0390	0,0039
10	1,429	4,3303	0,0330	1,442	4,3696	0,0370	13,0	0,0393	0,0039
9	1,426	4,3212	0,0321	1,439	4,3608	0,0361	13,1	0,0396	0,0040
8	1,424	4,3152	0,0315	1,436	4,352	0,0352	12,2	0,0368	0,0037
7	1,421	4,3061	0,0306	1,433	4,3432	0,0343	12,3	0,0371	0,0037

Level (cm)	Pengukuran	Perhitungan dari pengukuran		Nilai sebenarnya			Error		
	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	V_I (V)	I_{OUT} (mA)	P (bar)	V_I (V)
6	1,418	4,2970	0,0297	1,430	4,3344	0,0334	12,4	0,0374	0,0038
5	1,415	4,2879	0,0288	1,427	4,3256	0,0326	12,4	0,0377	0,0038
4	1,412	4,2788	0,0279	1,425	4,3168	0,0317	12,5	0,0380	0,0038
3	1,409	4,2697	0,0270	1,422	4,308	0,0308	12,6	0,0383	0,0038
2	1,406	4,2606	0,0261	1,419	4,2992	0,0299	12,7	0,0386	0,0039
1	1,402	4,2485	0,0248	1,416	4,2904	0,0290	13,8	0,0419	0,0042
0	1,4	4,2424	0,0242	1,413	4,2816	0,0282	12,9	0,0392	0,0039



Biodata Penulis



Akhmad Fahrudi, lahir di Mojokerto pada tanggal 15 september 1986. Setelah menyelesaikan studi S1-nya pada tahun 2009 bidang Teknik Elektro, ia sempat kerja dibidang *Control Automations*. Bidang keahlian yang sedang didalami sekarang adalah Instrumentasi dan kontrol. Penulis juga pernah mengikuti Kontes Robot Cerdas Indonesia pada tahun 2008. Saat ini penulis bekerja di salah satu perguruan tinggi swasta di Surabaya sebagai staf pengajar dibidang elektronika dan pembimbing robot pada kontes robot KRAI. Tahun 2012 penulis melanjutkan program Magister di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan mengambil konsentrasi dibidang Instrumentasi.